



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY**

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**KONSTRUKČNÍ NÁVRH JEDNOÚČELOVÉHO  
STROJE PRO KONTROLNÍ A MĚŘICÍ STANICI PRO  
KABELÁŽE**

DESIGN OF A SINGLE-PURPOSE MACHINE FOR A CONTROL AND MEASURING STATION  
FOR CABLING

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Bc. Tomáš Bouchal

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2021



## Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Student: **Bc. Tomáš Bouchal**

Studijní program: Strojní inženýrství

Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a robotika

Vedoucí práce: **pan Radek Knoflíček**

Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Konstrukční návrh jednoúčelového stroje pro kontrolní a měřicí stanici pro kabeláže**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Úkolem je vytvoření konstrukčního návrhu jednoúčelového stroje pro kontrolní a měřicí stanici pro kabeláž (kabel mezi akumulátorovými bateriemi elektromobilu). Jednoúčelový stroj má být navržen a používán jako univerzální pro 7 typů kabelů a obsluhovat ho bude jeden operátor. Maximální rozměry stroje jsou (1 x 2 x 2) m. Stroj musí zkontrolovat za rok 450 000 kusů. Životnost stroje musí být alespoň 20 let. Pro návrh JÚS je nutné použít více druhů snímačů a kamerový systém pro přesné určení daného typu kabelu a pro čtení DM kódu. Zadání DP je řešeno ve spolupráci se společností Mechatronic Design & Solutions s. r. o. v Brně.

#### **Cíle diplomové práce:**

Zhodnocení současného stavu (rešerše) v oblasti konstrukce a aplikace jednoúčelových strojů ve funkci kontrolní a měřicí stanice kabeláže elektro pro potřeby automobilového průmyslu.

Systémový rozbor problematiky procesu manipulace a testování kabeláže.

Konstrukční návrh jednoúčelového stroje (JÚS), který splňuje parametry rychlého, bezpečného upínání dílců a současně zohledňuje automatizaci procesu kontroly a měření, včetně výběru vhodných pohonů a PLC.

Potřebné výpočty vybraných komponent JÚS.

Výkresová dokumentace (vybrané sestavy, podsestavy, díly).

Komentář k přiložené výkresové dokumentaci.

Analýza rizik nového návrhu JÚS.

Kritické zhodnocení dosažených výsledků DP a doporučení pro praxi.

**Seznam doporučené literatury:**

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0. Praha:MM publishing, 2018. MM speciál. ISBN 978-80-906310-8-3.

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIMUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIMUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně dne 16.10.2020

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu děkan fakulty

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

## **ABSTRAKT**

Předmětem diplomové práce je návrh a konstrukce poloautomatického jednoúčelového stroje. Tento jednoúčelový stroj je určen pro testování sedmi druhů kabelových svazků, u kterých stroj bude kontrolovat přítomnost některých jejích částí, a zároveň bude měřit některé části kabelových svazků. V návrhu a konstrukci poloautomatického jednoúčelového stroje je nutné využít více druhů snímání. Jednoúčelový stroj disponuje automatickým kontrolním a měřícím procesem. Obsluha stroje pouze vkládá kabelový svazek do lůžka, spouští program a následně odebírá kontrolovaný svazek do správné bedny či krabice. Zadání diplomové práce je řešeno ve spolupráci se společností Mechatronic Design & Solutions s.r.o.

## **ABSTRACT**

The task of this thesis is a design and a construction of a semi-automatic single-purpose machine. This machine is designed for testing seven types of wiring harnesses, which are going to be tested, whether they contain all needed parts. The machine also measures some parts of the harnesses. It is necessary to use more types of sensors in the design and the construction of the single-purpose machine. All controlling and measuring processes are automatic. An operator of the machine just inserts the wiring harness into a fixture, activates the program, then removes controled harness and puts it into the right box. The task of this thesis is solved in a cooperation with Mechatronic Design & Solutions s.r.o. company.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

kabelový svazek, jednoúčelový stroj, ESD zóna, snímač

## **KEYWORDS**

Wiring harness, single-purpose machine, ESD zone, sensor



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

BOUCHAL, Tomáš. *Konstrukční návrh jednoúčelového stroje pro kontrolní a měřicí stanici pro kabeláže*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132050>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce pan Radek Knoflíček





## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato diplomová práce je mým osobním dílem. Zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Dr. Ing. Radka Knoflíčka, s konzultativním přispěním pracovníka společnosti Mechatronic Design & Solutions s.r.o. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 10.5.2021

.....  
Bc. Bouchal Tomáš



## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval především vedoucímu mé diplomové práce panu Radku Knoflíčkovi, za pomoc při vypracování diplomové práce a doplňující cenné rady, které mi pomohly vytvořit tuto práci. Dále bych chtěl poděkoval firmě Mechatronic Design & Solutions s.r.o. za možnost vypracování diplomové práce za jejich konzultativního přispění. Na závěr patří poděkování mé rodině za podporu, motivaci a trpělivost při mém studiu.



# OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>15</b>
<b>MOTIVACE.....</b>	<b>16</b>
<b>1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU V OBLASTI KONSTRUKCE A APLIKACE VE FUNKCI KONTROLNÍ A MĚŘÍCÍ STANICE KABELÁŽE PRO POTŘEBY AUTOMOBILOVÉHO PRŮMYSLU .....</b>	<b>17</b>
1.1 Testování obvyklé kabeláže elektromobilů.....	18
1.2 Požadavky na technické parametry a technologické vlastnosti jednoúčelového stroje .....	18
<b>2 SYSTÉMOVÝ ROZBOR PROBLEMATIKY PROCESU MANIPULACE A TESTOVÁNÍ KABELU.....</b>	<b>21</b>
2.1 Vysvětlení problematiky testování .....	22
2.2 Popis jednotlivých druhů kabelových svazků.....	23
2.3 Požadované druhy testování .....	25
2.4 Vhodné druhy analogového snímače.....	27
2.4.1 Klasické analogové snímače.....	27
2.4.2 Inteligentní analogové snímače .....	28
2.4.3 Indukční bezdotykové snímače na měření vzdálenosti .....	28
2.4.4 Magnetické bezdotykové snímače na měření vzdálenosti.....	29
2.5 Vhodné druhy snímačů pro detekci .....	31
2.5.1 Indukční bezkontaktní snímače pro detekci objektu .....	31
2.5.2 Magnetické snímače pro detekci .....	31
2.5.3 Optické snímače pro detekci.....	31
2.5.4 Hystereze .....	33
2.6 IO-link.....	34
2.7 Čtení čárového kódu DM.....	35
2.7.1 Čtečka čárového kódu .....	35
2.7.2 Čtení poškozených čárových kódů .....	36
2.8 Kamerový systém .....	37
<b>3 KONCEPČNÍ NÁVRH JÚS.....</b>	<b>39</b>
3.1 První koncepční varianta přestaveb .....	40
3.2 Druhá koncepční varianta přestaveb.....	41
3.3 První návrh konstrukčního uzlu.....	43
3.4 Druhý návrh konstrukčního uzlu .....	45
<b>4 VÝBĚR VARIANT .....</b>	<b>47</b>
4.1 Metoda multikriteriálního hodnocení .....	47
4.1.1 Výběr koncepční varianty přestaveb .....	48
4.1.2 Výběr konstrukčního uzlu .....	49
<b>5 KONSTRUKČNÍ NÁVRH JÚS, KTERÝ SPLŇUJE PARAMETRY RYCHLÉHO, BEZPEČNÉHO UPÍNÁNÍ DÍLŮ A ZOHLEDŇUJE AUTOMATIZACI PROCESU KONTROLY A MĚŘENÍ, VČETNĚ VÝBĚRU VHODNÝCH POHONŮ A PLC.....</b>	<b>51</b>
5.1 Zvolený pracovní postup .....	52
5.1.1 Pracovní postup při výměně druhu kabelového svazku .....	55
5.2 Výpočet časová analýzy procesu .....	55
5.2.1 Výpočet teoretického času pracovního cyklu .....	56

5.2.2	Čas pracovního cyklu .....	57
5.2.3	Čas při výměně druhu kabelových svazků .....	58
5.2.4	Počet otestovaných kusů za rok .....	58
5.3	Jednotlivé konstrukční části stroje .....	59
5.3.1	Profilová konstrukce stroje .....	59
5.3.2	Základní deska stolu .....	62
5.3.3	Deska přestaveb .....	62
5.3.4	Vybraná konstrukční přestavba .....	63
5.3.5	Bedna na neshodné kusy (NOK bedna) .....	65
5.4	Rozvaděč .....	66
5.4.1	Ovládací panel .....	67
5.4.2	Kamerový systém .....	69
5.4.3	Čtečka DM kódu .....	71
5.5	Pneumatické zapojení stroje .....	72
<b>6</b>	<b>VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE JÚS.....</b>	<b>75</b>
<b>7</b>	<b>ANALÝZA RIZIK JEDNOÚČELOVÉHO STROJE .....</b>	<b>77</b>
7.1	Identifikace relevantních nebezpečí a situací .....	77
7.2	Analýza významných nebezpečí během jednotlivých fází života stroje .....	79
7.3	Přehled jednotlivých závažných identifikovaných rizik .....	82
7.4	Snížení neakceptovatelných rizik .....	84
<b>8</b>	<b>ZHODNOCENÍ DP A DOPORUČENÍ PRO PRAXI .....</b>	<b>89</b>
8.1	Zhodnocení .....	89
8.2	Ekonomické zhodnocení jednoúčelového stroje .....	90
8.3	Doporučení pro praxi .....	91
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>93</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>95</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....</b>	<b>97</b>
11.1	Seznam použitých symbolů .....	97
11.2	Seznam tabulek .....	97
11.3	Seznam obrázků .....	98
<b>12</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>100</b>
12.1	Tištěné přílohy .....	100
12.2	Přílohy na CD .....	100

## ÚVOD

Cílem této diplomové práce je zhotovit konstrukční návrh poloautomatického jednoúčelového stroje pro kontrolní a měřicí stanici kabeláží. Kabeláž je tvořena z několika jednotlivých dílů, které se skládají do sebe a tvoří celkový kabelový svazek. Hlavním požadavkem na konstrukci jednoúčelového stroje je možnost měřit a kontrolovat sedm různých druhů kabelových svazků.

V rešeršní části diplomové práce je popsán systémový přístup při návrhu jednoúčelového stroje a popis jednotlivých druhů kabelových svazků, požadavky na kontrolu a měření kabelových svazků, dále rešerše týkající se snímací techniky, která by mohla být použita při konstrukci jednoúčelového stroje a popis komunikace mezi snímači a řídicími prvky.

V praktické části diplomové práce jsou uvedena dvě možná řešení variant koncepčních návrhů přestaveb a dvě varianty konstrukčního uzlu jednoúčelového stroje. Po výběru nejlepších variant je detailně zobrazena a vysvětlena konstrukce jednoúčelového stroje. V této části je také popsán rozvaděč, ovládací panel, čtečka DM kódu a použitý kamerový systém. Dále praktická část pokračuje popisem pneumatiky použité na jednoúčelovém stroji. Tato část končí popisem výkresové dokumentace

Poslední kapitoly diplomové práce jsou věnovány analýze rizik jednoúčelového stroje, kritickému zhodnocení celé práce a následnému doporučení do praxe.

## MOTIVACE

Motivace k sepsání diplomové práce konstrukčního zaměření vzešla z mého vlastního zájmu o podílení se na konstrukci jednoúčelového stroje ve spolupráci se společností Mechatronic Design & Solutions s. r. o. Tato společnost sídlící v Brně se zabývá vývojem plně automatizovaných a poloautomatických linek na skládání a testování různých druhů konektorů používaných převážně v automobilovém průmyslu (automotiv). Do jejich portfolia patří například montážní ruční pracoviště, testery na palivové nádrže do automobilů, a především právě zmíněné jednoúčelové stroje. V rámci řádného ukončení studia na ÚVSSR FSI VUT v Brně jsem proto velmi uvítal možnost zpracovat diplomovou práci s výstupem do praxe. Díky této možnosti získám větší povědomí o práci konstruktéra, přičemž si vyzkouším navrhnout ojedinělý stroj, který je originální, protože se jedná o jednoúčelový stroj. Při návrhu si vyzkouším použití vhodných snímačů, pneumatických válců a výběr kamer. Díky konstrukci tohoto stroje si také zkusím všechny činnosti, které jsou zahrnuty v práci konstruktéra, zejména domluvu požadavků se zákazníkem, časovou a koncepční analýzu, výběr a poptání všech komponentů, vytvoření analýzy rizik a pneumatických schémat.

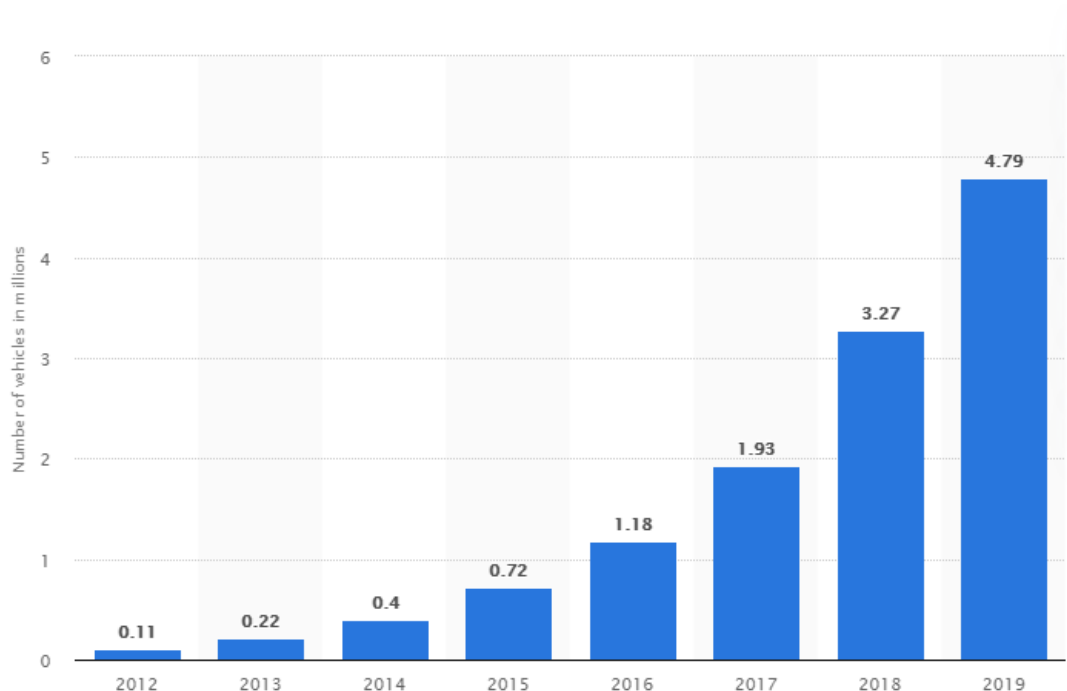


# **1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU V OBLASTI KONSTRUKCE A APLIKACE VE FUNKCI KONTROLNÍ A MĚŘICÍ STANICE KABELÁŽE PRO POTŘEBY AUTOMOBILOVÉHO PRŮMYSLU**

V předchozím a letošním roce (2020/2021) zažil automobilový průmysl krizi, při níž došlo ke znatelnému propadu objemu výroby, ze kterého se bude dlouho vzpamatovávat. Významná část populace v ČR a v Evropě prodělala v minulém roce první a druhou vlnu pandemie koronaviru. Kvůli této pandemii musely některé automobilky uzavřít výrobu, nebo při nejmenším pozastavit v některých zemích prodeje kvůli vládním nařízením. Automobilky měly také problém s dodávkami jednotlivých dílů pro dané typy aut, neboť i mnoho jejich subdodavatelů pandemie negativně zasáhla, anebo alespoň ovlivnila. Nutno však poznamenat, že ačkoliv u většiny automobilek došlo k propadu prodeje, automobilky vyrábějící elektromobily zaznamenaly rekordní odbyt na trhu. [1]

V letošním roce se tedy automobilový průmysl zaměřil na vývoj a konstrukci elektromobilů. Trendy elektromobility, konektivity a digitalizace se ale projevují již delší dobu. Zájem o ně má exponenciální charakter. Každý rok se zvětšuje podíl procent prodeje elektromobilů ve světě. Letošní odhady očekávají expanzní nárůst prodeje elektromobilů. Přísná nařízení týkající se přesně stanovených emisních norem totiž znamenají, že pro automobilky jsou elektromobily klíčovým způsobem, jak snížit emise způsobené spalováním pohonných hmot, jejichž nedílnou součástí jsou fosilní zdroje. Zvýšená výroba elektromobilů s sebou zároveň nese zvýšenou potřebu vývoje a výroby jejich jednotlivých dílů. To samozřejmě znamená i potřebu znásobit počty jednoúčelových strojů, které tyto díly vyrábí, kontrolují a měří.

Elektromobily disponují nižšími náklady na provoz, na údržbu vozidla a ekologičtějším způsobem dopravy než spalovací motory. Hlavní nevýhodou elektromobilů je však jejich krátký dojezd, zcela nevyřešená situace týkající se jejich likvidace po ukončení doby životnosti a nízká životnost baterie elektromobilu. U baterie totiž dochází k postupnému snižování její kapacity, tím pádem se postupně snižuje délka dojezdové vzdálenosti vozidla. Pro nabíjení baterie je pak nutné připojit ji k nabíjecí stanici, což může být v některých místech poněkud problematické, jelikož síť elektrických stanic určených pro dobíjení elektromobilů zatím není tak rozsáhlá jako síť benzínových stanic.



Obr. 1) Prodej elektromobilů od roku 2012 do roku 2019 [2]

### 1.1 Testování obyčejné kabeláže elektromobilů

Obecně se v elektromobilech používá velké množství kabelů, přičemž většina z nich jsou obyčejného typu. Na koncovky kabeláže jsou upevněny plastové nevodivé výlisky osazené kovovými piny. [3]

Testovací stroj proto musí splňovat všechny požadavky kladené na spolehlivý test kabelového svazku nebo propojky v rámci výrobních procesů. Testuje se především kompletní elektrické propojení, detekce přesné polohy kontaktu nebo tvaru, detekce přítomnosti samostatných částí na svazku, detekce volby správného kódování, testování těsnosti a detekce barvy konektoru.

Proces výroby kabelových svazků obsahuje také montážní kroky jako šroubování, zakládání krytů, montáž plastových dílů, pojistek, senzorů, palubních počítačů apod. I tyto dílčí kroky mohou být provedené či kontrolované na testovacím stroji.

### 1.2 Požadavky na technické parametry a technologické vlastnosti jednoúčelového stroje

Jak bude uvedeno v následující kapitole, lze na tvorbu požadavků aplikovat systémový přístup. To znamená popis všech činností od prvotního požadavku zákazníka na JÚS až po jeho předání do užívání. Pokud zákazník vytvoří poptávku na vývoj, konstrukci a zprovoznění stroje, poptává jeho zhotovení u několika osvědčených dodavatelských společností. Všechny tyto společnosti poté vytvoří nabídku na poptávaný stroj. Jedná se většinou o velmi jednoduchý koncepční návrh stroje, finanční kalkulaci a termín zhotovení a dodání stroje. Zákazník si podle podmínek výběrového řízení vybere dodavatelskou společnost, která zakázku na stroj získá.

I na začátku tohoto projektu zákazník hledal firmu, která má zkušenosti s jednoúčelovými stroji podobného typu, především pak společnosti zaměřené na automobilový, zejména elektromobilový průmysl. Společnost Mechatronic Design & Solutions s.r.o. má bohatou zkušenost s podobnými jednoúčelovými stroji a pro své zákazníky zkonstruovala již několik strojů, které jsou již zavedeny ve výrobě, a proto si i tento zákazník vybral právě ji. Nakonec objednal kontrolní a měřicí jednoúčelový stroj pro sedm druhů kabelových svazků. V té době nebyly známy přesné tvary jednotlivých kabelových svazků, počty klipů a koncovky konektoru.

Při předložení požadavku na návrh a konstrukci jednoúčelového poloautomatického stroje bylo nutné spolu se zákazníkem vyřešit tyto nezbytné náležitosti:

- detailní seznámení se s produktem, který se bude kontrolovat a měřit na JÚS;
- přesně probrat a zapsat požadavky kontrol a měření produktu;
- probrat a zapsat požadavky na kompletní JÚS;
- upozornit na případné problémy, možné změny a výrobní nepřesnosti produktu.

Při první schůzce se zákazníkem, jím byly definovány základní parametry jednotlivých druhů kabelových svazků, a na konci se obě strany dohodly na vytvoření jednoho jednoúčelového kontrolního a měřicího stroje se sedmi přestavbami, které budou uloženy pod její základní deskou. Každá přestavba bude určena pro přesně jeden druh kabelového svazku. Při konzultaci se zákazníkem byl kladem velký důraz na snadné rozpoznávání jednotlivých přestaveb pro daný druh kabelu a na zamezení jejich zaměnitelnosti. Operátor bude zakládat daný typ kabelového svazku do dvou lůžek. Vždy na konci kabelu vloží konektor do lůžek a po založení a zajištění kabelu spustí program, který zkontroluje a změří všechny požadované parametry. Problému testování se více věnuje následující kapitola.

Součástí požadavku zákazníka byly také maximální prostorové rozměry jednoúčelového stroje. Největší možná délka stroje musí být jeden metr, šířka dva metry a výška rovněž dva metry. Jednoúčelový stroj musí obsahovat bezpečnostní prvky, které mají zajistit bezpečnost a ochranu zdraví při práci (BOZP). Dále musí být zkonstruován dle bezpečnostních požadavků zákazníka a dle zásad ESD zóny (ochrana elektronických součástí před elektrostatickými jevy, normativně je zpracována v normách řady ČSN EN 61340) pro zamezení možného vzniku elektrického výboje. Také je nutné navrhnout jednoduchý systém signalizace pro operátora. Požadavkem zákazníka je signalizace pomocí dotykové obrazovky. Dalším požadavkem na jednoúčelový stroj je také umístění neshodných kusů kabelových svazků (NOK kusů) do speciální NOK bedny umístěné v jednoúčelovém stroji.

U prvotních schůzek se zákazníkem je nutná přítomnost konstruktéra, programátora a elektroprojektanta, a to kvůli objasnění všech požadavků na konstrukci, kterou nemusí mít na starost pouze jeden konstruktér. Po vyjasnění základních parametrů vyžadovaných zákazníkem konstruktér navrhne a zkonstruuje model stroje. Při návrhu konstruktér vytváří více variant řešení, které mohou být na stroj použity. Po vytvoření variant následuje konzultace se zákazníkem. Zákazník spolu s konstruktérem vybere nejvhodnější variantu, která vyhovuje samozřejmě především zákazníkovi. Následně konstruktér vytvoří detailnější propracování vybrané varianty a poté znovu vše konzultuje se zákazníkem a zároveň také s programátorem,

elektro projektantem a montéry. Všechny tyto profese spolupracují při výrobě daného stroje. Pokud již nejsou žádné připomínky na úpravy stroje, jde jej zcela a bez problému smontovat, konstruktér vytvoří výkresovou dokumentaci. Tu posléze posílá spolu se 3D modely jednotlivých dílů do dodavatelské nástrojárny, která vyrábí potřebné díly. Dále konstruktér spolu s elektro projektantem zadají nákupčímu seznam dílů, které je potřeba na stroj nakoupit.

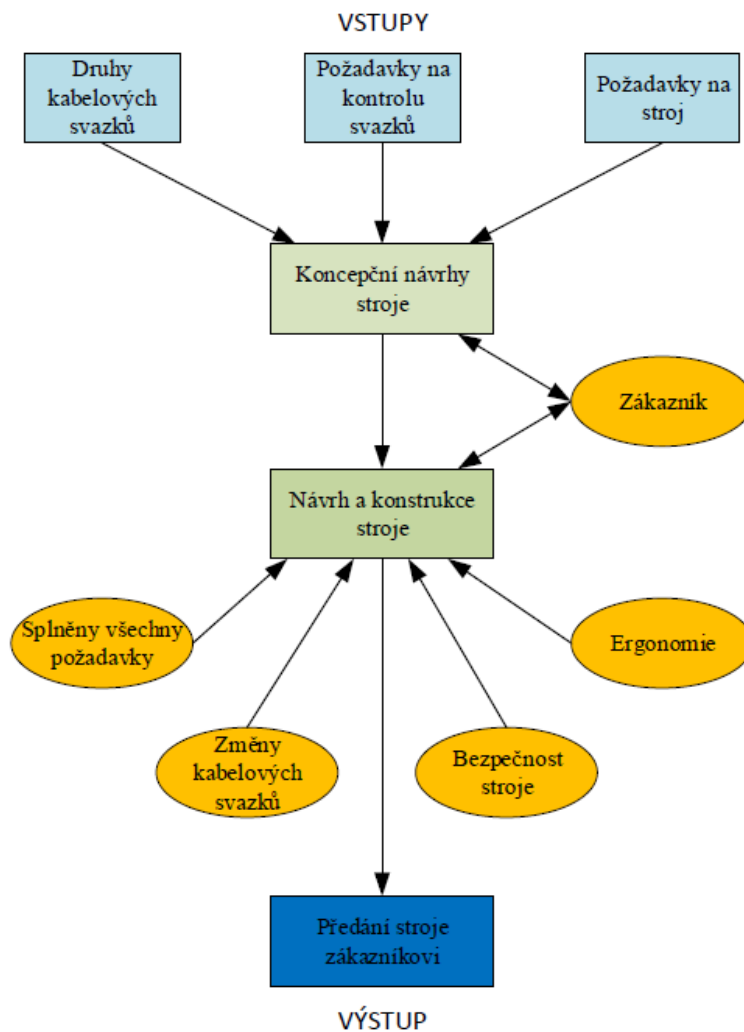
## 2 SYSTÉMOVÝ ROZBOR PROBLEMATIKY PROCESU MANIPULACE A TESTOVÁNÍ KABELU

Za systémový rozbor a přístup se považuje způsob myšlení či jednání při řešení nějakého projektu. Systémový přístup se uplatňuje především u větších a složitějších projektů, do kterých zasahuje více lidí z odlišných oborů. Pokud systémový přístup nebude brán vážně, může dojít k tomu, že řešení celého projektu nebude efektivní, a dokonce může dojít k nechtěným omylům a opomenutím. [22]

Základní principy systémového přístupu jsou:

- systém je víc než souhrn jeho částí;
- systém je potřeba zkoumat proto, abychom měli možnost předpovědět jeho chování;
- hlavní účel systému je ten, pro jehož dosažení mohou být obětovány jiné cíle;
- složité systémy je vhodné rozložit na podsystémy, které jsou analyzovány samostatně a poté znovu vcelku;
- systém je dynamickou sítí vzájemně propojených elementů, změna jednoho elementu způsobí změnu dalších elementů;
- hranici systému lze pozměnit podle cílů analýzy.

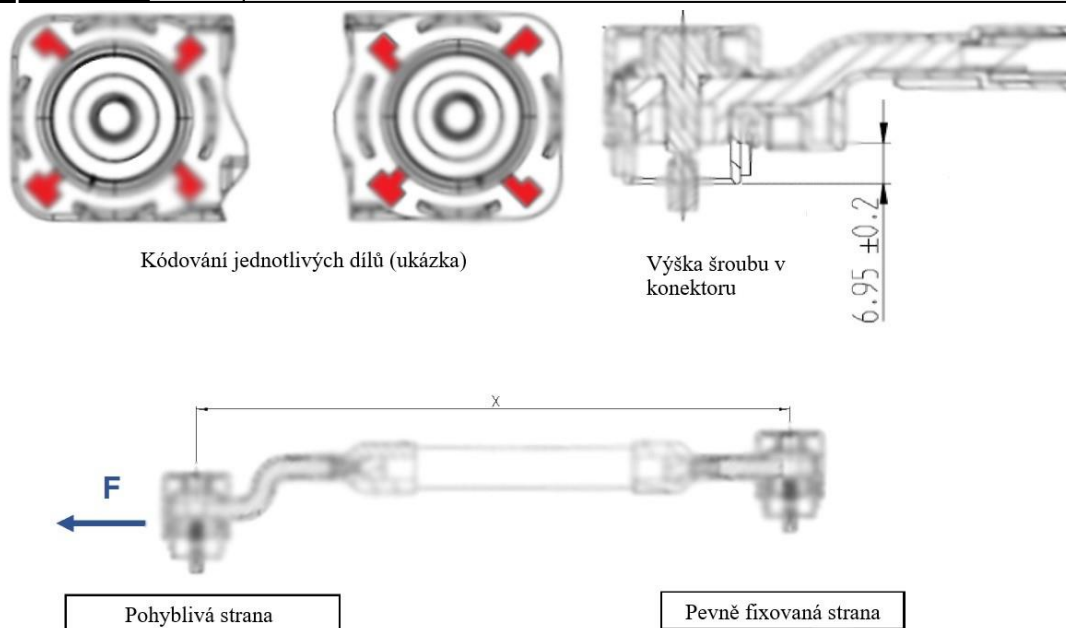
V systémovém přístupu je nutné především nejdříve definovat zkoumaný systém. Ten může být chápán jako množina prvků, které určují konečné vlastnosti daného celku. Vstupy do systému jsou prostřednictvím procesů a nástrojů transformovány na výstupy, které mohou být vstupy do jiných komponent systému, nebo do jiných systémů.



Obr. 2) Systémový přístup pro jednoúčelový stroj

## 2.1 Vysvětlení problematiky testování

Každý druh kabelového svazku je složen z několika dílů, skládá se ze dvou konektorů, které spojují kabel. Na každém kabelovém svazku je na jedné straně konektoru DM kód (viz další kapitoly). Každý druh konektoru má na sobě originální kódování, které slouží k tomu, aby kabely nebyly zaměněny. Konektor se skládá z několika dalších dílů. Některé druhy kabelových svazků na sobě mají připevněné různé druhy klipů. Tyto klipy slouží k uchycení svazku do potřebné pozice a zabraňují nechtěnému pohybu. Klipy jsou upevněné na kabelu pomocí bindrů.



Obr. 3) Kódování, výška šroubu v konektoru, ukázka měření délek (obrázek záměrně rozostřen)

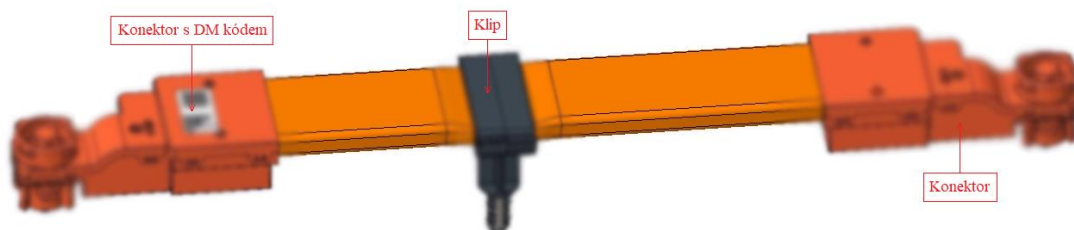
Některé obrázky v diplomové práci jsou záměrně rozostřeny, neboť si zákazník nepřeje zveřejňovat přesná data. Rozostřené části nejsou podstatné pro diplomovou práci a v obrázcích jsou ponechané pouze pro lepší orientaci. V diplomové práci byly také pozměněny názvy jednotlivých druhů kabelových svazků. Rozostření dílů i anonymizace názvů byly řádně konzultovány s vedoucím této diplomové práce a byly odsouhlaseny.

## 2.2 Popis jednotlivých druhů kabelových svazků

Části dílů záměrně rozmazány – jak již bylo zmíněno, zákazník si zveřejnění detailů nepřeje. Zároveň jsou jednotlivá označení kabelových svazků záměrně pozměněná a neodpovídají skutečnosti.

- První druh kabelového svazku

Kabelový svazek se skládá ze dvou zrcadlově podobných konektorů, které spojuje plochý kabel. Vzdálenost mezi osami šroubů v konektoru je dle výkresové dokumentace  $343 \pm 5$  milimetrů. Oba konektory shodně směřují směrem dolů. Mezi konektory je vložený klip, který je detekován.



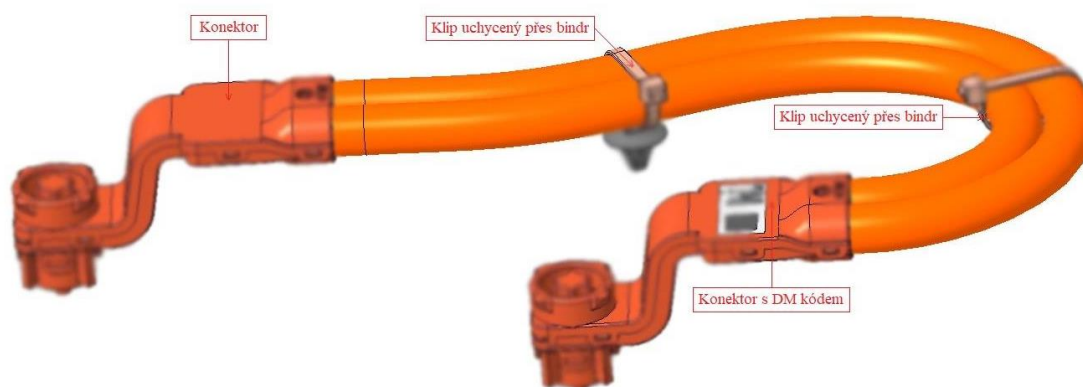
Obr. 4) První druh kabelového svazku (záměrně rozostřeno)

- Druhý druh kabelového svazku

Tento druh kabelového svazku je podobný druhu prvnímu. Změny jsou pouze v originálním kódování na konektoru a jiném DM kódu, který je u každého druhu jiný.

- Třetí druh kabelového svazku

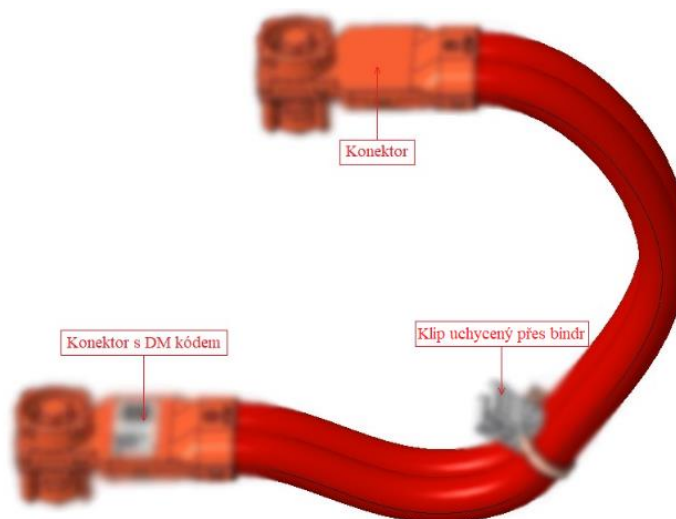
Kabelový svazek se skládá ze dvou stejných konektorů, které spojuje dvojité kabel. Vzdálenost mezi osami šroubů v konektoru je dle výkresové dokumentace  $422 \pm 5$  milimetrů. Oba konektory shodně směřují směrem dolů. Mezi konektory jsou vloženy dva klipy, které budou detekovány. Klipy jsou připevněny na kabelovém svazku pomocí bindrů, u kterých je nutné kontrolovat, zdali jsou správně namontovány.



Obr. 5) Třetí druh kabelového svazku (záměrně rozostřeno)

- Čtvrtý druh kabelového svazku

Kabelový svazek se skládá ze dvou podobných konektorů, které spojuje dvojité kabel. Vzdálenost mezi osami šroubů v konektoru je dle výkresové dokumentace  $354 \pm 5$  milimetrů. Konektory po natažení kabelového svazku směřují opačným směrem, jeden dolů, druhý nahoru. Mezi konektory je vložen jeden klip, jehož přítomnost se bude detekovat. Klip je připevněn na kabelovém svazku pomocí bindru, u něhož je nutné zkontrolovat, zdali je správně namontován.

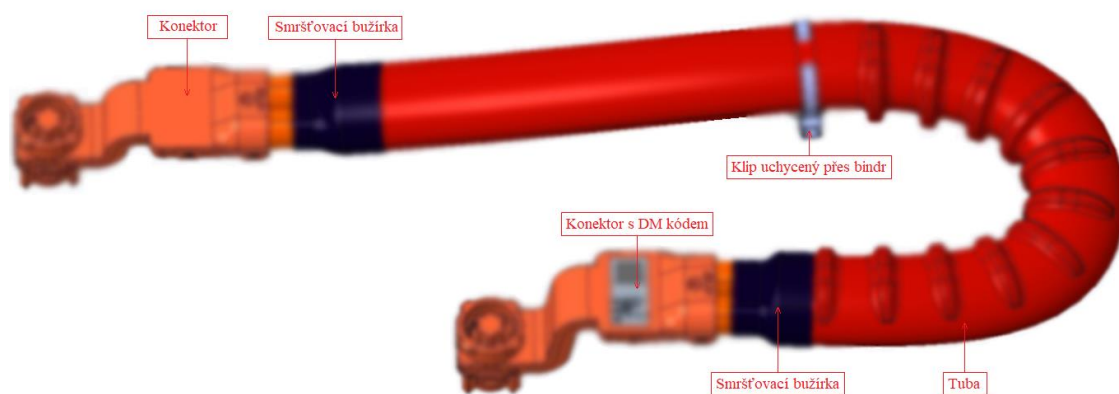


Obr. 6) Čtvrtý druh kabelového svazku (záměrně rozostřeno)



- Pátý druh kabelového svazku

Kabelový svazek se skládá ze dvou podobných konektorů, které spojuje dvojitý kabel. Tento kabel je chráněn tubou, která má na koncích smršťovací bužírky. Vzdálenost mezi osami šroubů v konektoru je dle výkresové dokumentace  $563 \pm 5$  milimetrů. Oba konektory shodně směřují směrem dolů. Mezi konektory je vložen klip, jehož přítomnost stroj kontroluje. Klip je připevněn na kabelovém svazku pomocí bindru, u kterého se bude kontrolovat, zdali je správně namontován.



Obr. 7) Pátý druh kabelového svazku (záměrně rozostřeno)

- Šestý druh kabelového svazku

Kabelový svazek se skládá ze dvou stejných konektorů, které spojuje dvojitý kabel. Tento kabel je chráněn tubou, která má na koncích smršťovací bužírky. Vzdálenost mezi osami šroubů v konektoru je dle výkresové dokumentace  $423 \pm 5$  milimetrů. Oba konektory shodně směřují jedním směrem. Mezi konektory je vložen klip, který jehož přítomnost bude stroj detekovat. Klip je připevněn na kabelovém svazku pomocí bindru, u kterého bude kontrolováno, zdali je správně namontován.

- Sedmý druh kabelového svazku

Poslední, sedmý druh kabelového svazku je stejný jako druh pátý. Změny jsou pouze v originálním kódování na konektoru a jiném DM kódu, který je u každého druhu jiný.

## 2.3 Požadované druhy testování

Operátor založí kabelový svazek do jednoúčelového stroje a následně připevní oba konce konektorů přes mechanickou upínku. Následně pomocí tlačítka spustí připravený program testování. Program nejprve zkontroluje, zdali jsou oba konce kabelového svazku (konektory) správně zajištěny. Zde by bylo vhodné použít snímač určený k detekci. Po ověření správného zajištění kabelového svazku následuje kontrola správné přestavby. Kontrolu správné přestavby může provádět kamera i operátor, případně speciální čip RFID zabudovaný v přestavbě (viz dále). Každý druh kabelového svazku má na konci jednoho z konektorů DM kód. Zdali je DM kód na konektoru umístěn, musí být rovněž zkontrolováno. DM kód lze detekovat kamerou nebo čtečkou.

Délky jednotlivých kabelových svazků se musí měřit. Naměřené délky svazků musí odpovídat výkresové dokumentaci daného druhu kabelového svazku. Všechny druhy mají ve výkresech uvedenou toleranci délky  $\pm 5$  milimetrů. Pro měření délky bude vhodné použít, buď elektrický servopohon, pneumatický servopohon, nebo pneumatický válec doplněný snímačem analogového měření. Oba konce kabelového svazku (konektory) obsahují šrouby. Je nutné kontrolovat přítomnost těchto šroubů a následně hloubku jejich uložení v konektorech. Ve všech výkresech kabelových svazků je uvedená hodnota tolerance hloubky  $6,95 \pm 0,2$  milimetrů. Na detekci přítomnosti šroubů lze použít druh snímače určeného právě k detekci. Na kontrolu hloubky konektoru je nejvhodnější použít snímač analogového měření.

Všechny druhy kabelových svazků obsahují rozdílné druhy a počty klipů. Strojem je kontrolována přítomnost těchto klipů. Na detekci přítomnosti klipů je nejlepší použít druh snímače určeného k detekci. Všechny klipy jsou uchycené na kabelu pomocí bindru, u kterého je zjišťováno, zdali je správně namontován. Některé druhy kabelů jsou obaleny tubou a na koncích mají smršťovací bužírky. Přítomnost i těchto prvků je potřeba zkontrolovat. Pokud bez problémů projde kabelový svazek celým testováním, je podle požadavku zákazníka nutné označit daný kus pomocí značící jehly. Aby značící jehla správně fungovala, je nutné použít jednočinný nebo dvojčinný pneumatický, či hydraulický válec. Pokud testem kabelový svazek neprojde musí být zajištěn proti odepnutí operátorem. Ten může mechanickou upínku odepnout a vzít kabel až po potvrzení NOK kusu na ovládacím panelu. Další testování by nemělo být možné, dokud NOK kus nebude vložen do NOK bedny. Na tuto aplikaci může být využito snímání pomocí optiky nebo kapacitního čidla.

Tab. 1) Požadavek na testování jednotlivých druhů kabelových svazků

Požadované druhy testování	Druh testování	Možnost testování
Zajištění upnutí kabelu	kontrola	detekce
Kontrola přestavby	kontrola	kamera, operátor, RFID čip
DM kód	kontrola	kamera, čtečka
Délka kabelového svazku	měření	analogické měření
Přítomnost šroubu	kontrola	detekce
Hloubka šroubu v konektoru	měření	analogické měření
Přítomnost klipů	kontrola	detekce
Správná montáž bindru	kontrola	kamera
Přítomnost tuby	kontrola	kamera, detekce
Přítomnost smršťovací bužírky	kontrola	kamera, detekce
Značení jehlou	značení	vrub, tečka

## 2.4 Vhodné druhy analogového snímače

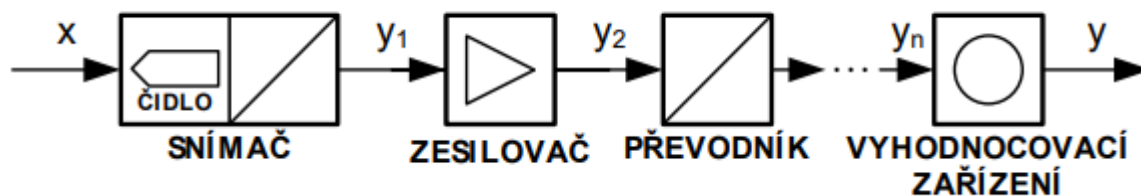
Pro měření velikostí různých veličin (například určení vzdálenosti), se používají snímače generující spojitě analogové signály, které se mění časem spojitě. Mírou velikosti měřené veličiny je amplituda signálu. Spojité signály se zpracovávají analogovými přístroji.

Snímače se dělí podle signálu na aktivní a pasivní senzory. Při použití analogového signálu se používají pasivní senzory. Pasivní senzor potřebuje pro snímání zdroj elektrické energie.

Typy analogových signálů slouží pro přesné určení hodnot, které nabývá měřená veličina. Tou je v tomto případě vzdálenost, ale může se jednat také o teplotu nebo tlak. Snímaný předmět je k senzoru přibližován a oddalován v rozsahu snímání daného senzoru. Aktuální vzdálenost snímaného předmětu se převede na proporcionální proudový signál v rozsahu velikosti od 0 do 20 mA nebo na napěťový signál v rozsahu velikosti 0 až 10 V, vždy podle aktuální vzdálenosti snímaného předmětu. Signály musí být v jednoznačně přímé závislosti k měřené veličině. Přesnost opakovaného měření se liší v závislosti na typu snímače, vždy je ale dosaženo přesnosti v řádech mikrometrů. Analogové snímače mívají krátké dosahové vzdálenosti. Analogový senzor je napojen na analogově-číslicový převodník (A/D), který převádí analogový signál na signál digitální, který dále putuje do PLC. Existuje mnoho typů analogového signálu. Teoretická část této práce je zaměřena pouze na některé analogové snímače, které budou zvažovány do návrhu a konstrukce jednoúčelového stroje. [4]

### 2.4.1 Klasické analogové snímače

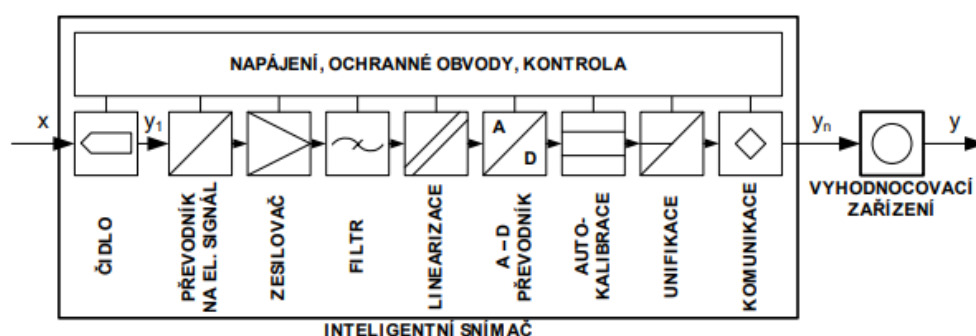
Obvykle se používají analogové senzory, které dané hodnoty spojitých analogových veličin převádějí na odpovídající hodnoty spojitěho signálu přiváděného na analogové vstupy systému. Zde je ve vstupním analogově-číslicovém převodníku signál transformován na odpovídající číselnou hodnotu vstupní proměnné ve formátu, který je zrovna potřeba. Před dalším výpočtem provede program řídicího systému ještě předzpracování vstupních údajů, zejména převedení údajů z převodníku na údaje vyjádřené v obvyklých jednotkách, také dochází k potlačení šumu a k ověření věrohodnosti údajů. Snímače provádí pouze převody měřených veličin na jiné veličiny. [4]



Obr. 8) Měřicí řetězec s klasickým snímačem [4]

## 2.4.2 Inteligentní analogové snímače

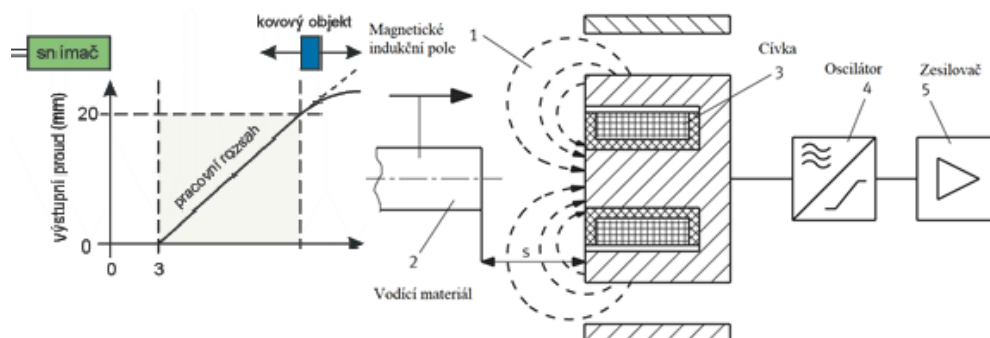
Každý inteligentní analogový snímač spojuje obvody pro zpracování a analýzu signálu z čidla a samotné čidlo do jednoho kompaktního provedení. Cílem je dosáhnout integrace měřicího řetězce na jediný čip. Z důvodu extrémních provozních podmínek bývá vyhodnocovací část snímače oddělena. Čím dál častěji jsou dnes používány chytré senzory (tzv. smart senzory), které obsahují analogově-číslicové převodníky a předávají číselný údaj o měřené hodnotě již zkontrolovaný a přepracovaný. Smart senzory poskytují ještě další funkce a služby, například kontrolují správnou funkci senzoru, ohlašují poruchy, lze je dálkově nastavit apod. Číselné údaje mohou být přenášeny více způsoby, např. prostřednictvím sériové komunikace s rozhraním a komunikačním protokolem některého z průmyslových sběrnic nebo prostřednictvím průmyslové verze Ethernet. [4]



Obr. 9) Inteligentní snímač s měřícím řetězcem [4]

## 2.4.3 Indukční bezdotykové snímače na měření vzdálenosti

Používá se také označení přibližovací indukční snímač. Tento snímač se používá pro měření vzdálenosti dvou vodivých materiálů. Princip jeho fungování je založen na vířivých proudech s analogickým napěťovým nebo analogickým proudovým výstupem. Cívka ve snímači je napájena elektrickým zdrojem, čímž vzniká kolem cívky magnetické pole. Při vkládání vodivého materiálu do magnetického pole cívky se začínají indukovat vířivé proudy, které vytvoří elektromagnetické pole. Toto magnetické pole působí proti pólu cívky a tím se mění impedance cívky. Řídicí systém následně vypočítá impedanci podle změny amplitudy a fázového posunu. Přesnost měření závisí na korekčním faktoru, který udává snížení snímací vzdálenosti pro snímaný předmět. Korekční faktor je přímo závislý na vodivosti materiálu. Pro lepší představu, korekční faktor například u oceli je 1 a u hliníku je již pouze 0,4.



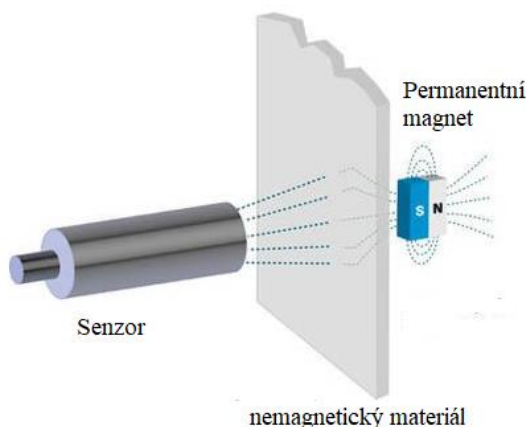
Obr. 10) Převodní charakteristika a konstrukce aktivní cívky [5, 6]

Při použití indukčního snímače je nutné brát v potaz některá základní pravidla daná výrobcem. Zejména při použití více indukčních snímačů musí být dodržena určitá minimální vzdálenost mezi dvěma indukčními snímači, aby nedošlo ke vzájemnému ovlivnění měření. Pravidla se liší v závislosti na velikosti a typu snímače. Je tedy rozdíl mezi vestavěným typem, který lze zarovnat s čelem plochy, ve které je přichycen a nevstavěným typem, jehož měřicí část nemůže být oklopena kovem.

Výhodou indukčních snímačů je nízká pořizovací cena, možnost použití ve vlhkých, prašných a vysokotlakých místech měření. Hlavní nevýhodou je však jejich malý dosah měření. Většina indukčních snímačů dosahuje maximální možné vzdálenosti měření pouze do deseti milimetrů. [5, 6]

#### 2.4.4 Magnetické bezdotykové snímače na měření vzdálenosti

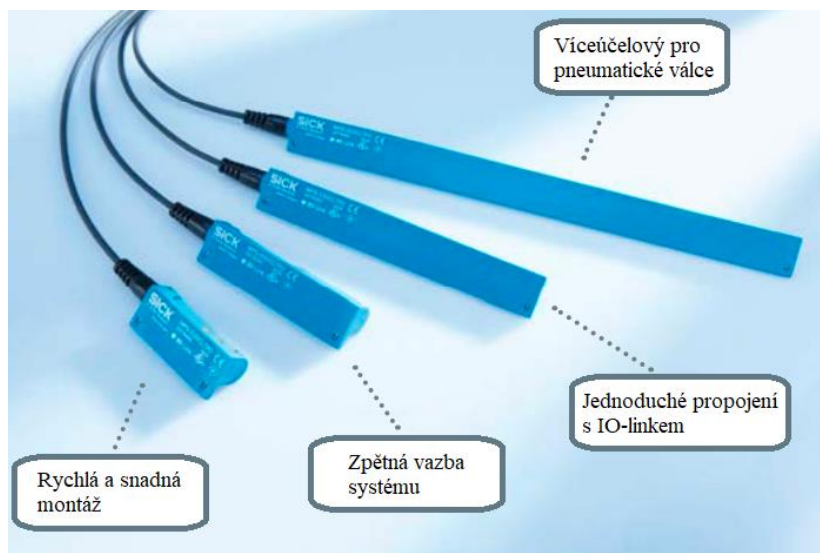
Magnetické bezdotykové snímače, též nazývané magnetické senzory přiblížení, slouží obecně ke zjištění polohy v řídicí technice. Používají se tam, kde indukční snímače již nestačí z hlediska spínacích vzdáleností. Magnetické snímače dosahují výrazně delších spínacích vzdáleností i při stejných nebo dokonce menších rozměrech než indukční snímače. Magnetické snímače používají princip magnetického pole. Jelikož magnetické pole prochází všemi nemagnetickými materiály, mohou být měřeny i vzdálenosti mezi předměty, které jsou umístěné například za stěnou z nemagnetického materiálu. [4, 9]



Obr. 11) Princip magnetického senzoru [9]

Díky možnostem měření za nemagnetickou stěnou se běžně používá u pneumatických válců při detekci krajních bodů, případně pro měření vzdálenosti. Píst pneumatického válce má na sobě permanentní magnet. Magnetické senzory se také používají při měření vzdálenosti pístu pneumatického válce.

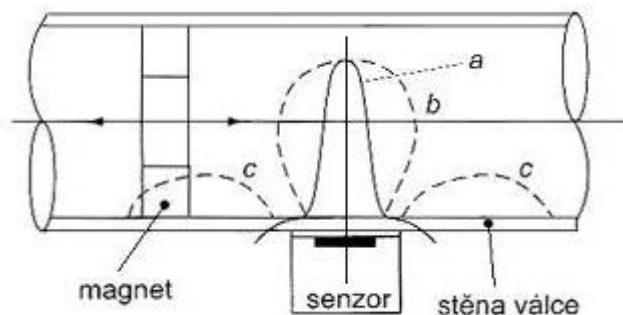
U těchto typů senzorů se používá princip absolutního odměřování. Tento princip využívá seskládání magnetických částí do určitého kódování tak, aby každá pozice měla jiný kód. Kód je poté převeden do posloupnosti binárních čísel. Senzor tedy pozná, kde se aktuálně nachází, a to i při výpadku elektrického proudu. Velikost odečítání maximální vzdálenosti závisí na maximálním rozsahu a na jemnosti kódování. Magnetické senzory se vyrábějí v analogovém provedení nebo v analogovém provedení s IO-Linkem. [10]



Obr. 12) Přímé odměřování pomocí magnetického snímače [10]

Existuje více základních principů magnetických senzorů, které ve svých provedeních vykazují odlišný systém funkce, a tím i odlišné provozní vlastnosti:

- Reedův senzor (magneto-mechanický);
- magnetické senzory s nasycovaným jádrem cívky;
- Hallova sonda.



Obr. 13) Porovnání spínací charakteristiky a) senzoru s nasyceným jádrem cívky, b) a c) Reedova senzoru

V praxi se využívají všechny principy fungování přibližně stejně často, přičemž Reedův senzor se jakožto senzor fungující na nejjednodušším principu používá pro méně náročné aplikace. Senzory s nasycovaným jádrem cívky sice vyžadují použití elektroniky, zato však poskytují nejlepší detekční vlastnosti. [4, 9]



## 2.5 Vhodné druhy snímačů pro detekci

Pro detekci předmětu se používají snímače, které generují nespojité signály, tedy ty časem se měnící nespojitě. Mírou velikosti signálu je amplituda v rozsahu 0 až 100 procent, šířka signálu je konstantní. Tyto snímače bývají levnější než snímače analogové. Signály totiž vyhodnocují snáze, výsledkem je 0, nebo 1. [4]

### 2.5.1 Indukční bezkontaktní snímače pro detekci objektu

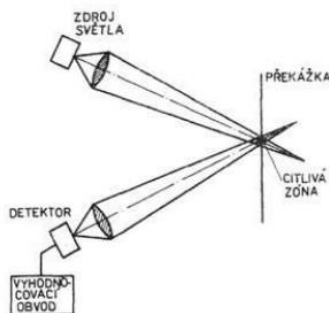
Indukční snímač sloužící k detekci přítomnosti objektu pracuje na stejném principu jako indukční snímač pro měření vzdálenosti popsany v kapitole 2.3.1.

### 2.5.2 Magnetické snímače pro detekci

Magnetické snímače sloužící k detekci fungují na stejném principu jako magnetické snímače na měření vzdálenosti popsané v kapitole 2.3.3. V takovém magnetickém snímači se nejčastěji používá princip Reedova senzoru. Jedná se o nejjednodušší provedení a používá se v jednoduchých polohovacích aplikacích, nebo při méně náročných detekcích pozice pístu válců. [9]

### 2.5.3 Optické snímače pro detekci

Optické snímače detekují nebo měří intenzitu paprsku světla dopadajícího na přijímací část senzoru. Konkrétně je jimi měřen světelný výkon nebo úroveň amplitudy a porovnává se s jejich požadovanou hodnotou. Zdroj vyzařuje světlo, které dopadá na předmět, nebo na překážku. Od předmětu (popř. překážky) se světlo odrazí a je optickou soustavou usměrněno na přijímač. Optika vysílače a přijímače zajišťuje protnutí světelných paprsků v malé oblasti, což umožňuje detekovat předmět, měřit jeho vzdálenost, kontrast a barvu. [11]



Obr. 14) Princip optického snímače [11]

Existuje několik druhů zdrojů světla. Prvním je LED dioda vyzařující červené světlo. Červené světlo se používá pro snímání středních a velkých objektů. Výhodou při manipulaci s tímto světlem je, že je paprsek vidět a tím jej lze i správně nastavit. Zároveň snímače s červeným světlem bývají levnější.

Druhý druh zdroje světla je laser. Snímač s laserovým světlem se využívá pro snímání malých objektů, které je potřeba měřit i na velké vzdálenosti. Je nutné, aby snímač nikdy nesvítěl proti obsluze stroje, neboť by mohlo docházet k odleskům, které by obsluze mohly poškodit oči.

Třetí typ využívaného zdroje světla je laser vyzařující světlo infračervené. Tento druh světla je vhodný pro použití v prašném prostředí. Toto provedení má výhodu, že není vidět, a tím ani nemůže obtěžovat obsluhu.

Posledním typem zdroje světla je LED dioda vyzařující červené světlo PinPoint. Rozdíl mezi LED červeným světlem a světlem PinPoint je v usměrnění světelného paprsku. Rozdílem je i to, že tyto snímače bývají dražší než obyčejné snímače s červeným světlem.

Přijímačem na snímačích je, buď fotodioda, fototranzistor, nebo PDS prvek (fotocitlivý prvek, u nějž se proud mění v závislosti na poloze dopadajícího paprsku). Optické snímače se dělí podle řešení zdroje a přijímače následovně:

### **Zdroj paprsku je oddělen od přijímače – přijímač/vysílač**

Jednocestné optické závory se skládají z vysílací a přijímací jednotky, které jsou umístěné naproti sobě v určité vzdálenosti. Zdroj světla je tvořen, buď LED diodou, nebo laserovou diodou. LED světlo putuje pouze v jednom směru, a to od vysílače do přijímače. Přijímač je tvořen fototranzistory, které světlo detekují. Předmět přeruší paprsek a tím sepne přijímač bez ohledu na vlastnost a barvu povrchu. Toto provedení je vhodné použít v náročnějších podmínkách. Umožňuje přenos světla do vzdálenost až 80 metrů. Nevýhodou je nutné použití dvou jednotek, které se musí přesně namontovat naproti sobě. Při montáži zároveň musí být brán zřetel na to, aby nedošlo k záměně přijímače s vysílačem. Pokud by se tak stalo, světlo by sice opět putovalo od vysílače k přijímači, ale v opačném směru. Další nevýhodou je neschopnost snímače správně detekovat průhledné předměty. [11]

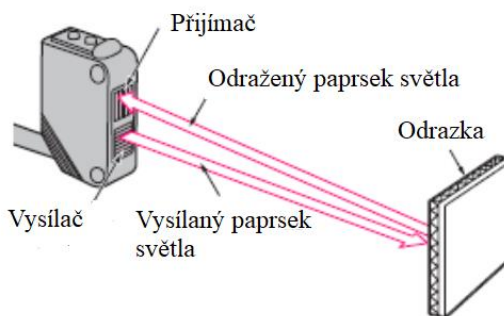


Obr. 15) Princip jednocestné optické závory [11]

### **Zdroj i přijímač paprsku v jednom pouzdře – polarizovaná reflexní detekce (odrazka)**

Reflexní optické závory obsahují vysílač a přijímač v jednom pouzdře. Zde světlo putuje dvěma směry. Z vysílače zdroj vysílá světlo na odrazku, kde se světlo odrazí a putuje zpátky do přijímače, který je uložen nad, či pod vysílačem. Tento druh snímače lze použít u předmětů s lesklým povrchem, při použití polarizačního světla. Provedení umožňuje přenos světla do vzdálenosti až 50 metrů. Z toho vyplývá, že maximální vzdálenost snímače od odrazky může být přibližně 25 metrů. Při použití tohoto provedení je ale nutné dát si pozor na to, aby nebyla odrazka větší, než je velikost detekovaného předmětu, jinak by odrazka odrážela paprsek zpátky do vysílače. [11]

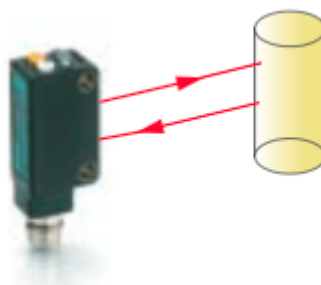




Obr. 16) Princip reflexní detekce [12]

### Zdroj i přijímač paprsku v jednom pouzdře – Difúzní detekce

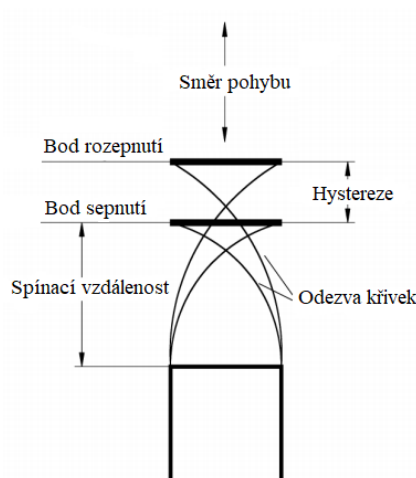
Difúzní detekce pracuje na přímém odrazu světla od předmětu. Dosah detekce je závislý na barvě, tvaru a lesku detekovaného předmětu. Vysílač i přijímač jsou uloženy v jednom pouzdře. Výhodami provedení jsou jednoduchá instalace a dobrá schopnost rozlišování barev. Dosah detekce předmětu se však pohybuje jen okolo čtyř metrů. [11]



Obr. 17) Difúzní detekce [11]

### 2.5.4 Hystereze

U indukčních a magnetických snímačů dochází k hysterezi. Hysterezí rozumíme rozdíl mezi body sepnutí a rozepnutí signálu. Hystereze se dále uvádí jako axiální citlivost v axiálním směru snímání senzoru. [5, 8]



Obr. 18) Hystereze indukčních a magnetických snímačů [8]

## 2.6 IO-link

IO-link vznikl ke sjednocení průmyslové komunikace mezi řídicím a řízeným prvkem. Jedná se o způsob komunikace typu point to point, která slouží k propojení řídicích prvků a akčních členů chytrých (smart) senzorů, které se používají pro průmyslovou automatizaci. IO-linková komunikace může nahradit analogové výstupy prvků. Pro přenos dat se používá binární signál o rozhraní 0-24 voltů, který je zpracováván pomocí pulzní modulace. IO-link přináší možnost použití sběrnic a čidel od různých výrobců, jelikož všichni pracují na stejném komunikačním protokolu. IO-link je podporován všemi známými sběrniceovými protokoly, jako jsou například Profibus, Profinet, Ethernet/IP, EtherCat, a to umožňuje rychlejší zavedení do stávajících procesů. Hlavní výhodou IO-linku je možnost spravovat a identifikovat provozní stav stroje na dálku. [19, 20]

Díky IO-linku a chytrým senzorům lze přes řídicí jednotku získat informace o aktuálním stavu jakéhokoliv sensoru a provádět celkovou diagnostiku snímačů. Například při náhlé nefunkčnosti senzoru informuje akční člen snímače PLC, který dál určí, jaký senzor nefunguje, a na kterém připojovacím portu ve sběrnici, nebo sdružovaném poli se nachází. PLC dále upozorní operátora na nutnou výměnu daného nefunkčního senzoru. Při výměně snímačů si systém pamatuje původní nastavení snímače, který je vyměněn. Po připojení, se náhradní snímač automaticky nakonfiguruje na funkci původního snímače. Dojde-li k výměně nefunkčního snímače za nový, avšak jiný typ snímače, systém automaticky změnu typu identifikuje a podá chybovou hlášku. Každé zařízení IO-linku obsahuje funkci IODD (IO Device Description), která slouží k přesné identifikaci daného zařízení. Pomocí oboustranné komunikace lze na dálku měnit parametry akčních členů přímo z řídicí jednotky. V případě analogových zařízení nejsou potřeba žádné převodníkové karty, za předpokladu pořízení analogového IO-linkového snímače.

Při komunikaci pomocí IO-linku bývají zařízení propojená standardními tří nebo pěti žilnými kabely, které jsou vysoce flexibilní a mají schopnost vydržet mnoho cyklických ohybů. Přenesená data jsou digitální a není potřeba používat stíněné kabely. Propojování prvků probíhá standardizovaně, ve velikostech koncových konektorů M5, M8 a M12. Zde byla snaha o sjednocení kabelů do sběrnic nebo sdružovacích polí, abychom dosáhli minimálního počtu potřebné kabeláže pro jednoúčelový stroj. Sběrnice nebo sdružovací pole jsou v blízkosti většího počtu senzorů a jsou umístěny na místech, kam se může seřizovač dostat, ale zároveň jsou natolik schované, že operátora neomezují či neohrožují při běžném provozu stroje (většinou jsou zakryté krytem).

Při správně provedeném propojování všech prvků ve stroji je možné vést pouze jeden kabel přímo do rozvaděče. Sběrnice nebo sdružovací pole jsou, buď po 8, nebo po 16 připojovacích portech a rozdělují se na porty vstupní, výstupní a kombinace vstupních a výstupních. Do master sběrnice se zapojují analogové IO-linkové snímače, světelné prvky, pneumatické ventilové terminály nebo sběrnice a sdružovací pole. Do sdružovacích polí se připojují senzory s binárním výstupem a jednotlivá sdružovací pole se dají spojit do sebe, čímž je docíleno pouze jednoho výstupního kabelu, za cenu ztráty jednoho připojovacího portu, do kterého se sdružené pole napojí.

## 2.7 Čtení čárového kódu DM

V dnešní době se velmi často používají pro identifikaci výrobků čárové kódy. Čárový kód obsahuje potřebné informace daného výrobku a lze ho rychle přečíst ve všech provozních stanicích výrobního cyklu. Výrobky jsou označovány na dobře viditelném místě, přičemž nejčastěji je čárový kód umístěn v jedné rovině. Existuje několik základních typů čárových kódů, jako například nejčastěji používaný typ EAN kód, Codabar kód, Portable Data Fily 417 kód, Data Matrix kód, QR kód nebo Kruhový kód. [21]

Každý kabelový svazek měřený a kontrolovaný JÚS, který je předmětem této diplomové práce, má na jedné straně konektoru Data Matrix (DM) kód, který je potřeba kontrolovat pomocí čtečky. Jedná se o dvojrozměrný čárový kód, který umí zakódovat celou ASCII tabulku znaků. Každý druh kabelového svazku má svůj vlastní Data Matrix kód, který je vždy umístěn na stejném místě u všech druhů kabelových svazků.

### 2.7.1 Čtečka čárového kódu

Čtečky čárového kódu jsou elektronické přístroje, které umožňují číst a vysílat data z přečteného kódu do řídicího prvku. Čtečka se skládá ze zdroje světla, čočky světelného senzoru a dekodéru. Čočka světelného senzoru překládá optické impulzy do elektrických. Celkový obvod analyzuje obrazová data čárového kódu a posílá je do výstupního portu. Čtečky rozdělujeme na laserové, CCD a světelné.

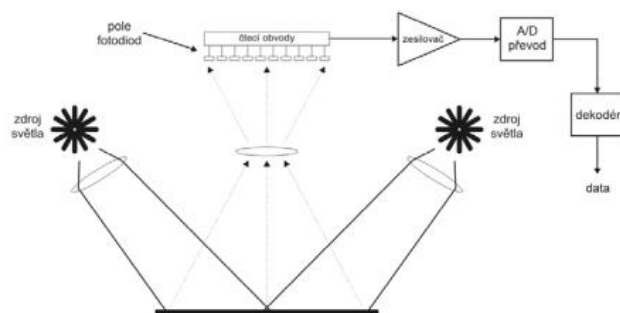


Obr. 19) Ukázka čtečky DMR-262 od společnosti Cognex [13]

### CCD čtečka

CCD čtečka zpracovává odražené světlo pomocí pole fotodiód označovaného jako CCD (Charge Coupled Device). Světlo putuje ze světelných zdrojů, dopadá na čárový kód, je odraženo a pomocí čočky je zaostřeno a nasměrováno do snímače CCD. Na rozdíl od laserových čteček není potřeba žádný pohyb paprsku či čtečky. Signál z CCD je následně zesílen, zpracován a převeden do řídicího prvku. Výhodou těchto čteček je nízká pořizovací cena a to, že jsou vhodné pro čtení dvourozměrných kódů. [13, 14, 21]

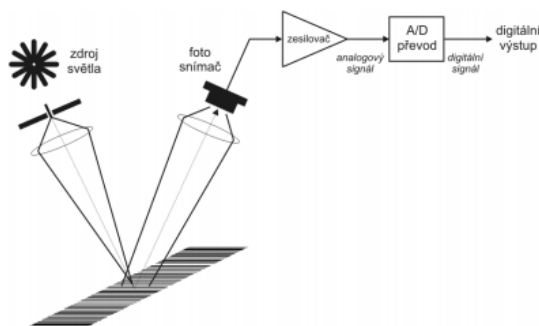
Pro ideální čtení je potřeba místo kódu dobře osvětlit a umístit čtečku přesně, nejlépe kolmo nad DM kódem. Maximální čtecí vzdálenost závisí na odrazových vlastnostech materiálu výrobku. Pro delší čtecí vzdálenost (tj. víc než 30 cm) je doporučeno použít externí osvětlovač. K samotnému čtení potřebují čtečky pouze několik milisekund. [21]



Obr. 20) Schéma CCD čtečky [21]

### Laserová čtečka

Jako zdroj světla se používá laserový paprsek, jehož pohyb je nasměrován pomocí elektromechanického systému pohyblivého zrcátka, popřípadě rotujícím hranolem. Odražený paprsek snímá fotočidlo, následně je paprsek zesílen a převeden pomocí převodníku A/D na digitální signál. Posléze je tento signál zpracován pomocí procesoru čtečky, který dále předá zpracované informace do řídicího prvku. Výhodou laserové čtečky je jednoduchá konstrukce, nevýhodou je však malý rozsah snímací plochy čtečky. [21]



Obr. 21) Schéma laserové čtečky [21]

#### 2.7.2 Čtení poškozených čárových kódů

Čárový kód, který je umístěn na konektoru kabelového svazku může obsahovat výrobní chyby. Tyto chyby mohou ovlivnit čtení kódu, a proto se v praxi využívá aplikace 2DMax s funkcí PowerGrid. Tato aplikace umí správně přečíst 2D kódy, i když jsou důležité prvky DataMatrixu nečitelné, nebo úplně chybí. Běžné čtečky čárových kódů používají speciální algoritmus založený na hledání tvarů, aby našli speciální vzory (tzv. L-Pattern a Clock Pattern) a podle nich dokázali přesně určit orientaci a velikost kódů. Pokud kus kódu chybí, nebo je poškozen některý ze speciálních vzorů, pak je potřeba další algoritmus, který je založen na vyhledávání textur. 2DMax spojuje oba algoritmy – jak algoritmus založený na hledání tvarů, tak ten založený na určování textur. Toto spojení algoritmů pracuje tak, že nejdříve nalezne kód, vyhledá části textury a spojí odpovídající kousky dat k sobě tak, aby byla textura co nejvíce kompletní. Když jsou všechny kousky dat nalezeny, algoritmus určí velikost těchto dat a posléze i celkovou velikost DM kódu. Následuje čtecí algoritmus, který všechna data dekoduje a přečte.



Obr. 22) Ukázka lokalizace čárového kódu [13]

## 2.8 Kamerový systém

Kontrola pomocí kamerového systému je spolehlivá ochrana proti chybám. Využívá se v průmyslových odvětvích, například při kontrole automobilových dílů. Kamera slouží k detekci či kontrole jednotlivých dílů dané sestavy výrobku. S její pomocí lze kontrolovat správnou montáž, orientaci jednotlivých dílů, jejich kvalitu a to, zdali je balení plné (například podle barev).

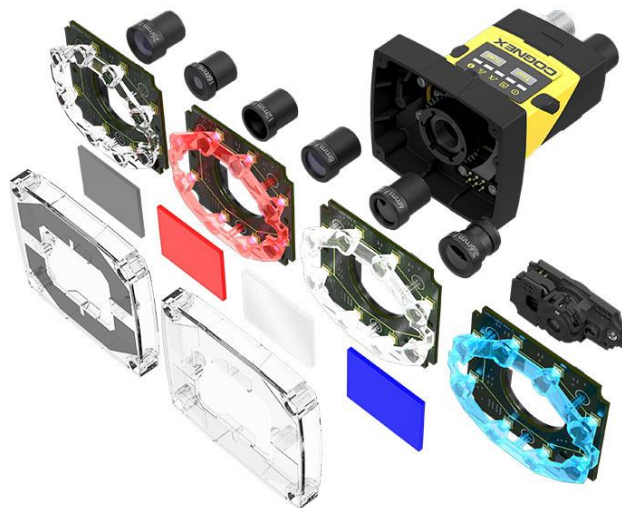
Tab. 2) Požadavky na kontroly pomocí kamery

Požadované kontroly pomocí kamery	druh kontroly	možnost kontroly
Kontrola přestavby	detekce	pomocí barev, znaků
Správná montáž bindru	orientace dílu	bindr
Přítomnost tuby	detekce	barva
Přítomnost smršťovačky	detekce	barva

Pro snímání a rozpoznání jednotlivých dílů je potřeba použít kameru, která dokáže rozpoznávat barvy.

Kamerový systém se skládá z několika dílů. Prvním dílem je objektiv volený na základě vzdálenosti od kontrolovaného objektu, aby docházelo k zachování požadovaného viditelného pole a rozlišení. Další nezbytnou součástí jsou světla umístěná směrem ke kontrolovanému objektu. Většinou jsou světla již zakomponována v kameře. Možnost změnit barvu světla může při některých detekcích významně pomoci s rozlišováním jednotlivých dílů výrobku. Neméně důležitou funkcí je i vizuální zobrazení toho, co kamera snímá. K tomu je využit dotykový displej, který je ideálním nástrojem pro monitorování a řízení systémů strojového vidění v reálném čase. Displej umožňuje nastavit, editovat a monitorovat celý kamerový systém bez použití počítače.

Pokud mají být kontrolovány objekty, které mají reflexní povrch je vhodné provádět snímání objektu pod úhlem 5 až 15 stupňů od vertikální osy, která je na snímací objekt kolmá. Toto opatření slouží k omezení nechtěných odlesků. Kamery je doporučeno umísťovat do prostředí, které není vystaveno přímému vlivu slunečního záření. [15, 16]

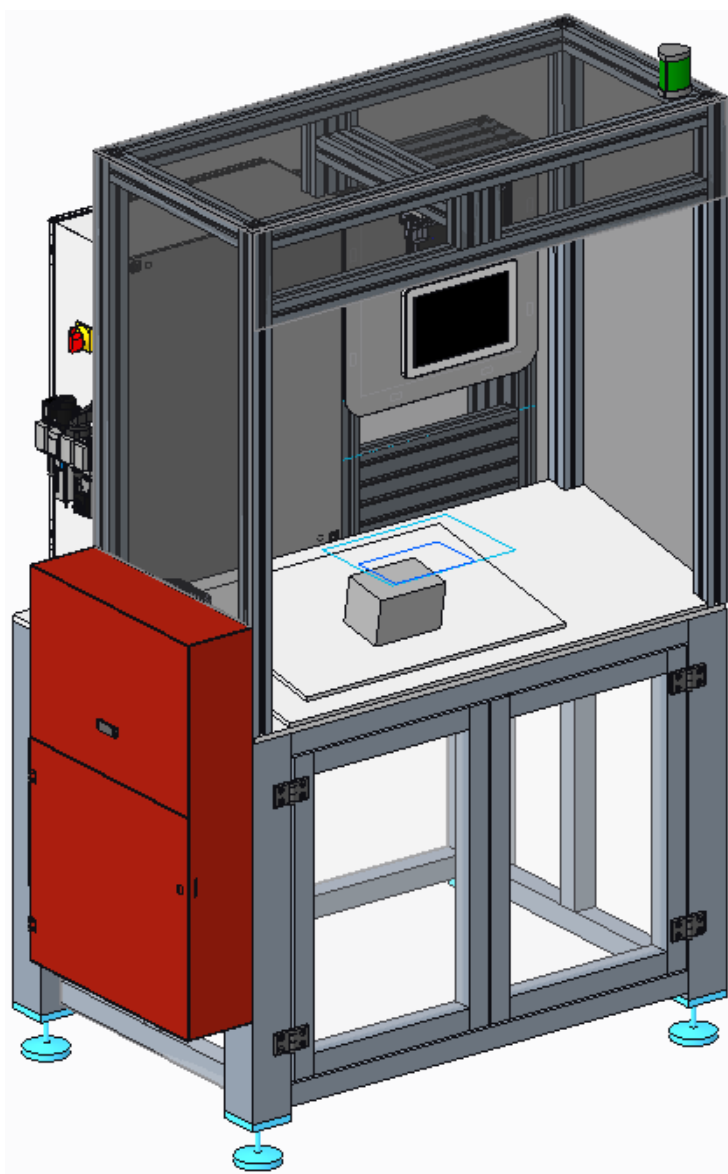


Obr. 23) Kamerový systém Cognex, různé varianty barev světla [16]

### 3 KONCEPČNÍ NÁVRH JÚS

Základním požadavkem zákazníka je, aby JÚS sloužil pro kontrolu a měření sedmi druhů kabelových svazků. Stroj bude obsluhovat pouze jeden operátor. Protože má být testováno sedm druhů kabelových svazků, musí být zavedeny standardy, které určují, jaké parametry musí splňovat jednotlivé přestavby. Standardem je myšleno zvolení základních rozměrů jednotlivých základních desek každé přestavby, dále jejich připojení a aretace desek přestaveb k desce, která bude tyto přestavby držet.

Při vytváření konceptu stroje bylo přihlíženo na požadované maximální zástavbové rozměry stroje. Také bylo nutné počítat s uložením nepotřebných přestaveb do blízkosti stroje tak, aby nikomu nepřekážely a byly uloženy mimo prašné prostředí. V základním koncepčním návrhu byl tedy přednostně zobrazen rozvaděč, bedna na neshodné kusy (NOK bedna) a umístění kamery.



Obr. 24) Koncepční návrh stroje

V koncepčním návrhu stroje byla navržena také velikost základní desky přestaveb, přičemž bylo nutné vzít v potaz nejdelší druh kabelového svazku a tvary jednotlivých kabelů, které se budou na jednoúčelovém stroji testovat. Základní desky přestaveb musí být větší než délky kabelů, aby se na ně příslušné kabelové svazky mohly být umístěny a aby bylo možné je měnit podle požadavků výroby. Výsledné rozměry celého stroje byly zvoleny v závislosti na velikosti základních desek přestaveb. Volba prvků pro připojení elektrických nebo pneumatických systémů musí splňovat podmínky pro automatické nebo ruční kontaktování. Aretační systém a vycentrování přestaveb musí být zrealizováno jednoduše, zejména z hlediska montáže a manipulace. Dále stroj musí být odolný proti mechanickému opotřebení pro případ, že by docházelo k častým výměnám přestaveb na jednoúčelovém stroji. Samozřejmě je také potřeba zajistit přestavby na stroji tak, aby nedošlo k jejich samovolnému či nechtěně operátorem zaviněnému odpojení.

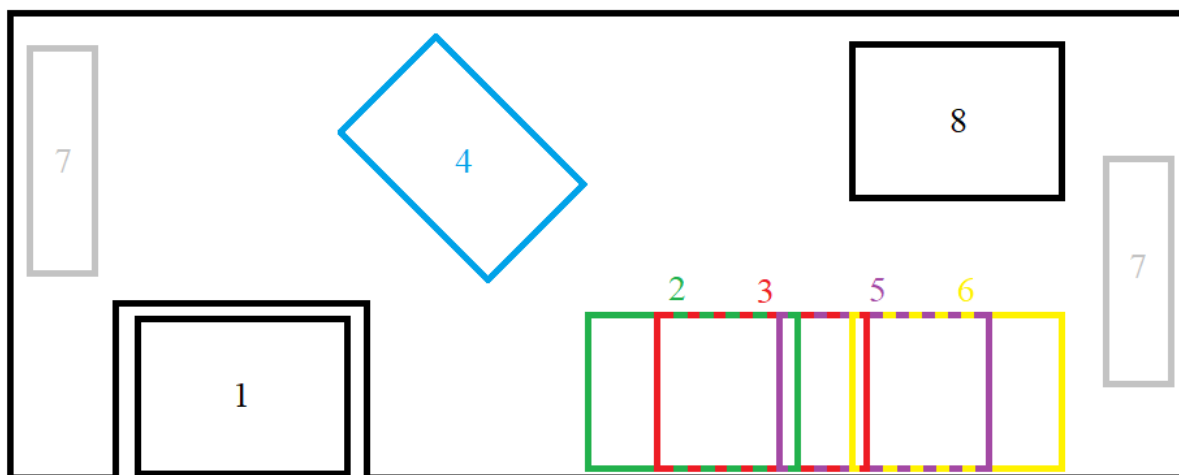
Při tvorbě koncepčního návrhu byly nejprve vytvořeny dvě základní varianty přestaveb, které byly následně konzultovány se zákazníkem.

Dále bylo nutné vyřešit hlavní konstrukční uzel, u kterého bylo rovněž nezbytné navrhnout více variant, následně zvážit jejich výhody a nevýhody a vybrat variantu nejvhodnější. Konkrétně se jednalo o vytvoření hlavního pojízdného lůžka pro jeden konec konektoru, které bude kontrolovat přítomnost šroubu a jeho hloubku a zároveň se bude pohybovat v jedné ose při měření délky kabelového svazku. Stejně jako koncepční návrh byl i konstrukční uzel konzultován se zákazníkem.

### **3.1 První koncepční varianta přestaveb**

První variantu koncepčního návrhu tvoří přestavby kabelových svazků, které jsou narovnané, s výjimkou jedné přestavby (na obrázku č. 25 označena číslem 4). Na jedné straně je pohyblivé výměnné lůžko, do kterého se nasadí jeden konec konektoru (na obrázku č. 25 označeno číslem 1). Pohyblivé výměnné lůžko, se s konektorem bude pohybovat v jedné ose pomocí pneumatického válce, který bude měřit i délku jednotlivých kabelových svazků. Výměnné lůžko se bude měnit podle druhu kabelového svazku. Pro umístění nepotřebného výměnného lůžka je na všech přestavbách vytvořeno místo (na obrázku č. 25 označeno číslem 8). Na pravé straně základních desek přestaveb je umístěné pevné lůžko, do kterého se nasadí druhý konektor kabelového svazku. Na všech přestavbách je ve stejném místě vytvořený prostor pro uchopení madla a manipulaci s přestavbami. Tento prostor (na obrázku č. 25 označeno číslem 7) je využit také pro aretace a umístění přestaveb na základní desku stolu. Jednotlivé barvy na obrázku č. 25 označují jednotlivé přestavby, přičemž na obrázku je vyznačeno pouze pět barev, a to z důvodu lepší orientace v obrázku. Jelikož jsou si některé druhy kabelových svazků velice podobné (podrobně v kapitole 2.3.), je pro ně určeno stejné lůžko.





Legenda:

- 1 - Pohyblivé výměnné lůžko (universální pro všechny druhy kabelových svazků - dochází k výměně pouze lůžka)
- 2 - Pevné lůžko a přestavba 1. a 2. druhu kabelového svazku
- 3 - Pevné lůžko a přestavba 3. druhu kabelového svazku
- 4 - Pevné lůžko a přestavba 4. druhu kabelového svazku
- 5 - Pevné lůžko a přestavba 5. a 7. druhu kabelového svazku
- 6 - Pevné lůžko a přestavba 6. druhu kabelového svazku
- 7 - Manipulační a aretační místo pro uchopení a manipulaci dané přestavby (universální místo pro všechny druhy)
- 8 - Místo pro uložení výměnného lůžka při výměně druhu kabelového svazku

Obr. 25) První koncepční varianta přestaveb

Výhody první varianty:

- lepší přesnost určení délky kabelu;
- jednoduchá konstrukce.

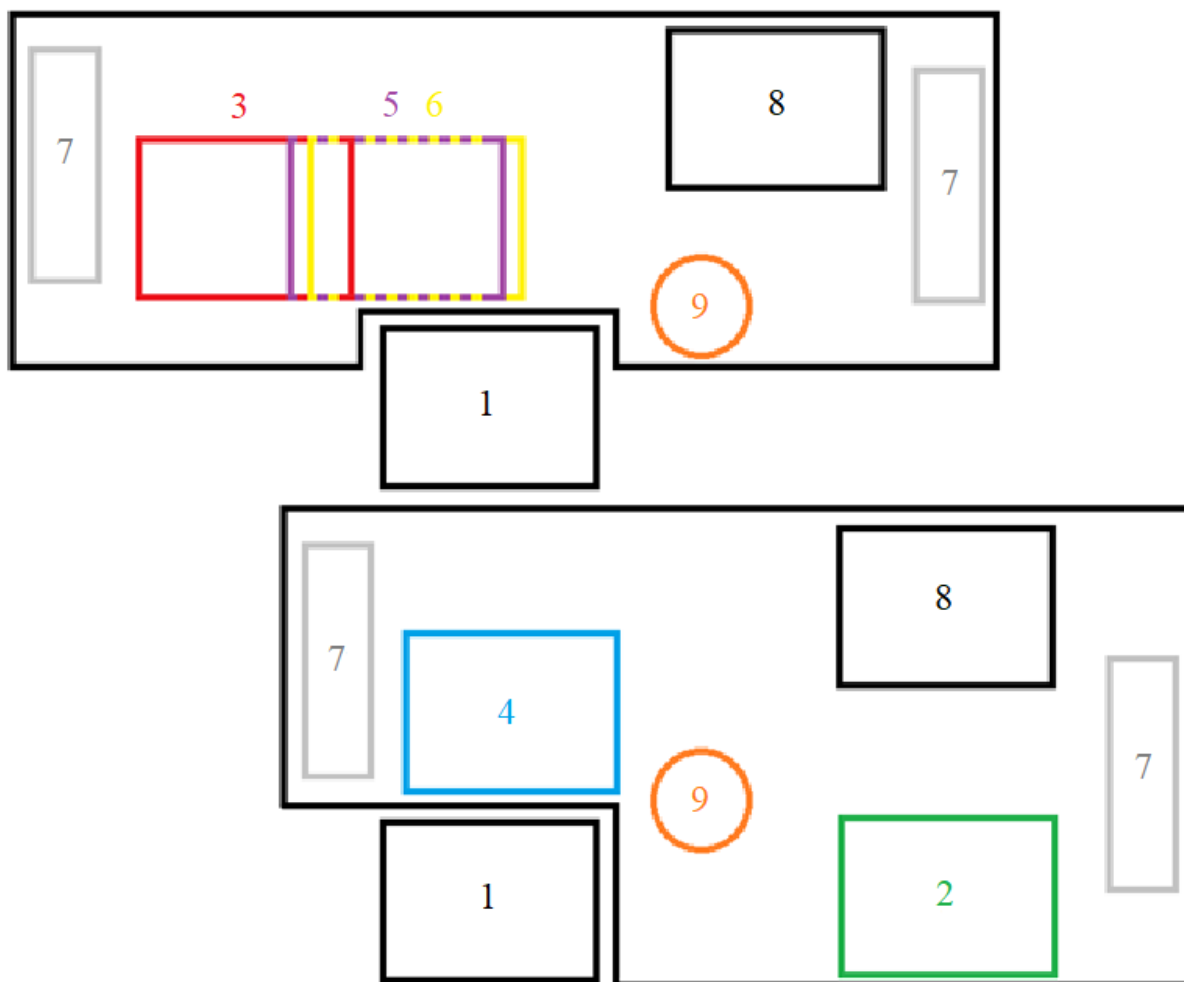
Nevýhody první varianty:

- nepoddajnost kabelových svazků (některé druhy kabelových svazků jsou již smontovány do oblouků, což vede k problémům s jejich narovnáváním, viz obrázky jednotlivých druhů kabelových svazků v kapitole 2.3);
- velké zástavbové rozměry přestaveb, tím i větší hmotnost a horší manipulace s nimi;
- nutnost velkých přestaveb pro krátké druhy kabelových svazků.

### 3.2 Druhá koncepční varianta přestaveb

Druhou variantu koncepčního návrhu tvoří přestavby na kabelové svazky, které mají tvar oblouku, až na dvě přestavby, které jsou narovnané (na obrázku č. 26 označeny číslem 2). Na jedné straně je pohyblivé výměnné lůžko, stejně jako u první koncepční varianty (na obrázku č. 26 označeno číslem 1). Pro umístění nepotřebného výměnného lůžka je vytvořeno na všech přestavbách místo (na obrázku č. 26 označeno číslem 8). Na pravé straně je na základní desce přestaveb umístěné pevné lůžko, do kterého se nasadí druhý konektor kabelového svazku. Některé druhy kabelových svazků jsou obtočeny okolo kladky (na obrázku č. 26 označena číslem 9). Kladka slouží k přesnějšímu natahování kabelových svazků. Jsou vytvořeny dvě rozdílné základny přestaveb, a to z důvodu menší zástavby, zmenšení hmotnosti přestavby a lepší manipulace. Na první základně přestaveb se bude testovat a kontrolovat třetí, pátý, šestý a sedmý druh kabelových svazků. Na druhé základně se bude testovat a kontrolovat první, druhý

a čtvrtý druh kabelových svazků. Na všech přestavbách je vytvořený prostor pro uchopení madla a manipulaci s přestavbami. Tento prostor (na obrázku č. 26 označen číslem 7) je využit také pro aretace a umístění na základní desku stolu. Jednotlivé barvy na obrázku č. 26 označují jednotlivé přestavby, přičemž na obrázku je vyznačeno pouze pět barev, a to z důvodu lepší orientace v obrázku. Jelikož jsou si totiž některé druhy kabelových svazků velice podobné (podrobně v kapitole 2.3.), je pro ně určeno pouze jedno lůžko.



#### Legenda:

- 1 - Pohyblivé výměnné lůžko (universální pro všechny druhy - dochází pouze k výměně lůžka)
- 2 - Pevná lůžka a přestavby 1. a 2. druhu kabelového svazku
- 3 - Pevné lůžko a přestavba 3. druhu kabelového svazku
- 4 - Pevné lůžko a přestavba 4. druhu kabelového svazku
- 5 - Pevná lůžka a přestavby 5. a 7. druhu kabelového svazku
- 6 - Pevné lůžko a přestavba 6. druhu kabelového svazku
- 7 - Manipulační a aretační místo pro uchopení a manipulaci s danou přestavbou
- 8 - Místo pro uložení výměnného lůžka při výměně druhu kabelového svazku
- 9 - Umístění kladky

Obr. 26) Druhá koncepční varianta

Výhody druhé varianty:

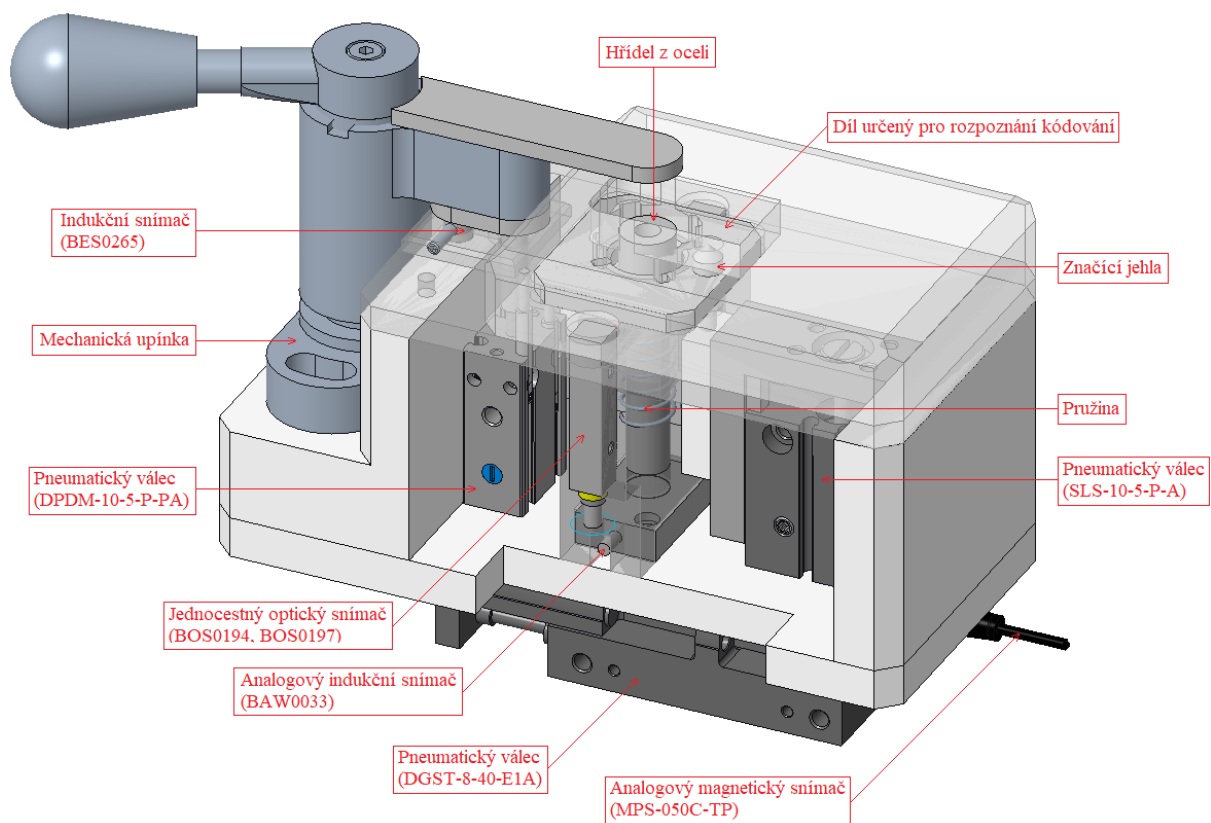
- menší zástavbové rozměry přestaveb, menší hmotnost přestaveb a lepší manipulace;
- poddajnost kabelového svazku;
- kabely se testují v podobné pozici, v jaké jsou smontované.

Nevýhody druhé varianty:

- kvůli tvaru oblouku u některých svazků dochází k menší přesnosti měření délky kabelového svazku;
- složitější konstrukce, je potřeba více uchopovacích míst na základní desce.

### 3.3 První návrh konstrukčního uzlu

První návrh řešení konstrukčního uzlu obsahuje pneumatický válec (DGST-8-40-E1A), který pohybuje základní deskou lůžka. Na pneumatickém válci je magnetický analogový snímač polohy. Na desce jsou namontované další obráběné díly. Zleva je na obráběném dílu umístěná mechanická upínka, která dotlačuje konektor do lůžka. Na tomtéž obráběném dílu je umístěn malý pneumatický válec (DPDM-10-5-P-PA), který slouží jako pojistka proti uvolnění kabelového svazku při testování. V horní desce je přichycen indukční snímač (BES0265), který slouží k detekci zavřené mechanické upínky. Na základní desce lůžka je přichycen indukční analogový snímač (BAW0033), který bude pomocí obráběného dílu hřídele měřit vzdálenost šroubu od uložení konektoru. Tato hřídel vyrobená z oceli je uložena v obráběném dílu tak, aby bylo možné pohybovat s ní v ose Z. Aby obráběný díl neovlivňoval indukční analogový snímač, je obroben z plastu (POM). Pro potřebu navracení hřídele do zpětné pozice směrem nahoru je použita pružina, která vrátí hřídel zpět a pomůže vytlačit konektor z lůžka. K detekci šroubu je v hřídeli vyrobená průchozí díra. Na obráběném dílu z materiálu POM je nainstalován jednocestný optický snímač (BOS0194 a BOS0197), který bude detekovat přítomnost šroubu v konektoru. Na dalším obráběném dílu je přichycen další pneumatický válec (SLS-10-5-P-A), který slouží pro značení shodného kusu. Výměnné lůžko konektoru je pevně přichyceno v horní desce pomocí středících kolíků a šroubů. Na výměnném lůžku je namontovaný díl, který slouží k rozpoznání kódování jednotlivých druhů kabelů.



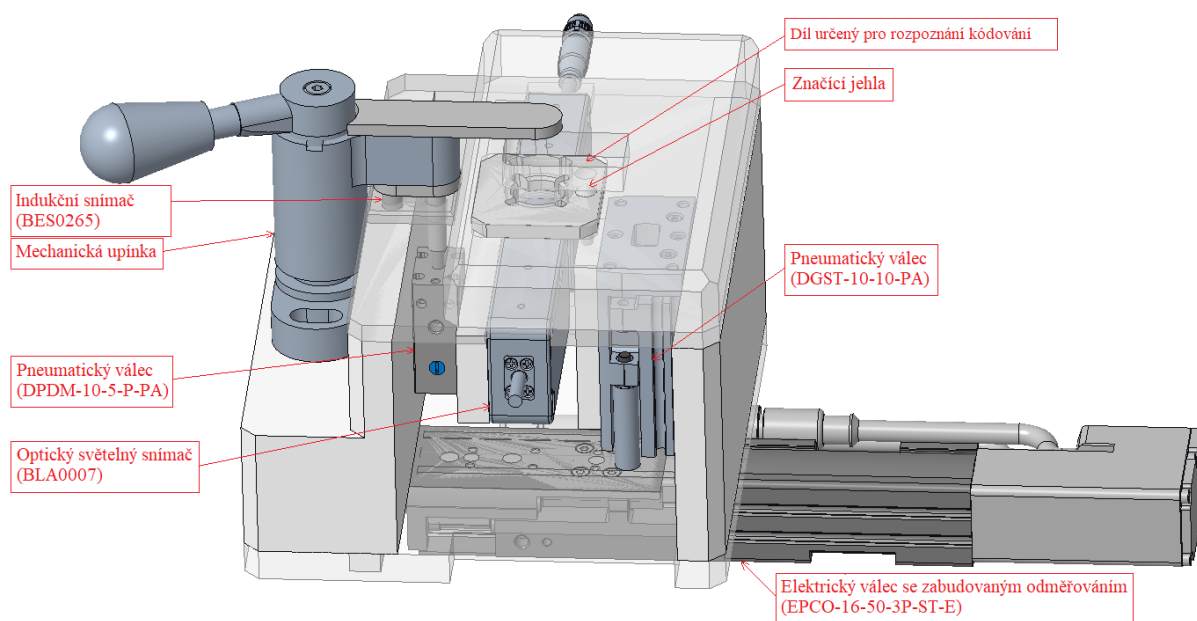
Obr. 27) První konstrukční návrh

Tab. 3) Náklady na první konstrukční návrh

Název	Cena v EUR (cca 25 Kč/EUR)	Cena v Kč
Mechanická upínka	145,-	3 625,-
Pneumatický válec (DGST-8-40-E1A)	160,-	4 000,-
Pneumatický válec (DPDM-10-5-P-PA)	25,-	625,-
Pneumatický válec (SLS-10-5-P-A)	215,-	5 375,-
Indukční snímač (BES0265)	85,-	2 125,-
Indukční analogový snímač (BAW0033)	175,-	4 375,-
Magnetický analogový snímač (MPS-050C-TP)	200,-	4 000,-
Optický snímač (BOS0194, BOS0197)	140,-	3 500,-
Cena obráběných dílů	1 000,-	25 000,-
<b>Celkem</b>	<b>2 145,- EUR</b>	<b>52 625,- Kč</b>

### 3.4 Druhý návrh konstrukčního uzlu

Druhý návrh řešení obsahuje elektrický válec (EPCO). Tento válec má v sobě zabudované automatické odměřování polohy, které přímo určuje polohu válce. Elektrický válec se pohybuje mechanicky za pomoci pohybové tyče a pevně integrovaného motoru. Pohon válce je zprostředkován elektricky poháněným vřetenem, které převádí svůj točivý pohyb na přímočarý pohyb tyče. Na základní desce jsou namontované další obráběné díly. Zleva je na obráběném dílu umístěná mechanická upínka, která dotlačuje konektor do lůžka. Na stejném obráběném dílu je umístěn malý pneumatický válec (DPDM-10-5-P-PA), který slouží jako pojistka proti uvolnění kabelového svazku při testování. K horní desce je přichycen indukční snímač (BES0265), který bude sloužit k detekci toho, zda je mechanická upínka zavřená. Na horní desce je také nainstalován optický světelný snímač (BLA0007). Tento snímač vytváří světelné pole sloužící k přesné identifikaci dílů a jejich polohy. Snímač je tedy určený jak k detekci šroubu, tak i k měření jeho vzdálenosti od konektoru. Na dalším obráběném dílu je přichycen pneumatický válec (DGST-10-10-PA), který slouží ke značení shodného kusu. Výměnné lůžko je pevně přichyceno k horní desce pomocí středících kolíků a šroubů. Na výměnném lůžku je přimontovaný díl, který slouží k rozpoznání kódování jednotlivých druhů kabelů.



Obr. 28) Druhý konstrukční návrh

Tab. 4) Náklady na druhý konstrukční návrh

Název	Cena v EUR (cca 25 Kč/EUR)	Cena v Kč
Mechanická upínka	145,-	3 625,-
Pneumatický válec (DGST-10-10-PA)	155,-	3 875,-
Pneumatický válec (DPDM-10-5-P-PA)	25,-	625,-
Elektrický válec (EPCO-16-50-3P-ST-E)	450,-	11 250,-
Indukční snímač (BES0265)	85,-	2 125,-
Optický světelný snímač (BLA0007)	1 680,-	42 000,-
Cena obráběných dílů	800,-	20 000,-
<b>Celkem</b>	<b>3 340,- EUR</b>	<b>83 500,- Kč</b>

## 4 VÝBĚR VARIANT

Pro výběr nejlepší varianty byla použita metoda multikriteriálního hodnocení zajišťující objektivní pohled na danou problematiku a správný výběr varianty. Tato metoda se zaměřuje na výběr rozložení koncepčních návrhů jednotlivých přestaveb a návrhů jednotlivých řešení konstrukčního uzlu. [17, 18]

### 4.1 Metoda multikriteriálního hodnocení

Při výběru nového zařízení nebo technického objektu osoba stojí před rozhodnutím, jakou ideální variantu ze širokých nabídek trhu zvolit. K výběru variant může být přistupeno, buď jako k subjektivnímu výběru (nadřazená restrikce určí, která varianta je nejlepší), nebo může být použit objektivní výběr (multikriteriální hodnocení).

Objektivní výběr se zaměřuje na využití systematických a racionálních metod práce využívajících matematický aparát. Tím je možné srovnávat několik variant nebo určitý počet nabídek. Cílem hodnocení je souhrnně určit nejdůležitější kritéria jednotlivých variant. Hodnocená kritéria jsou vyčíslitelná, a to významně zjednodušuje proces hodnocení. [17, 18]

Postup metody lze stručně popsat v následujících bodech:

1. provedení výběru reprezentativních kritérií;
2. stanovení bodovací stupnice;
3. určení významnosti jednotlivých kritérií;
4. vyhodnocení kritérií.

Vzorec pro konečný výpočet hodnocení variant:

$$\tau = \frac{\sum_{j=1}^n (g_j \cdot t_j)}{\sum_{j=1}^n g_j \cdot t_{\max}} = \frac{g_1 \cdot t_1 + g_2 \cdot t_2 + \dots + g_n \cdot t_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) \cdot t_{\max}} \leq 1 \quad (1)$$

#### Posuzované vlastnosti

T1) Technická jednoduchost konstrukce

T2) Hmotnost konstrukce

T3) Ekonomičnost konstrukce

T4) Manipulace s konstrukcí

T5) Zástavbové rozměry konstrukce

T6) Seřizovatelnost a programovatelnost

#### 4.1.1 Výběr koncepční varianty přestaveb

Jednotlivé parametry výpočtu koncepčních variant přestaveb jsou detailně uvedené v příloze. V této diplomové práci uvádím pouze tabulky hodnocení jednotlivých koncepčních variant a výsledky vyhodnocení.

Tab. 5) Tabulka hodnocení koncepčních variant pomocí metody multikriteriálního hodnocení

n	VLASTNOST	První koncepční návrh				Druhý koncepční návrh			
	OZN.	$t_n$	$g_n$	$p_\tau$	$\tau_n$	$t_n$	$g_n$	$p_\tau$	$t_n$
1	T1	5	0,5	20	2,5	4	0,5	25	2
2	T2	3	0,7	33,333	2,1	5	0,7	20	3,5
3	T3	5	0,9	20	4,5	3	0,9	33,33	2,7
4	T4	2	0,7	50	1,4	4	0,7	25	2,8
5	T5	2	0,6	50	1,2	5	0,6	20	3
6	T6	4	0,2	25	0,8	4	0,2	25	0,8

Tab. 6) Konečné technickoeconomické řešení koncepčních přestaveb

Koncepční návrh	$\tau$	Zvolená varianta
1	0,479	
<b>2</b>	<b>0,544</b>	<b>XXX</b>

#### Dílčí závěr:

Po přípravě konceptu přestaveb byly vytvořené dvě varianty. Z vypočtených výsledků vyšlo, že je výhodnější použít druhý koncepční návrh. Při konzultaci se zákazníkem bylo rovněž domluveno vybrat druhou variantu. Hlavními důvody, proč byla tato varianta zvolena byly zejména nízká celková hmotnost a snadnější manipulace s přestavbami.



#### 4.1.2 Výběr konstrukčního uzlu

Jednotlivé parametry výpočtu konstrukčního uzlu jsou detailně uvedené v příloze. V této diplomové práci uvádím pouze tabulky hodnocení konstrukčního uzlu a výsledky vyhodnocení.

Tab. 7) Tabulka hodnocení návrhů konstrukčních uzlů pomocí metody multikriteriálního hodnocení

n	VLASTNOST	První koncepční návrh				Druhý koncepční návrh			
		$t_n$	$g_n$	$p_\tau$	$\tau_n$	$t_n$	$g_n$	$p_\tau$	$t_n$
1	T1	3	0,7	33,333	2,1	4	0,7	25	2,8
2	T2	4	0,2	25	0,8	3	0,2	30	0,6
3	T3	5	0,9	20	4,5	2	0,9	50	1,8
4	T4	5	0,5	20	2,5	3	0,5	33,333	1,5
5	T5	5	0,5	20	2,5	3	0,5	33,333	1,5
6	T6	3	0,8	33,333	2,4	4	0,8	25	3,2

Tab. 8) Konečné technickoekonomické řešení konstrukčních uzlů

Koncepční návrh	$\tau$	Zvolená varianta
<b>1</b>	<b>0,561</b>	<b>XXX</b>
2	0,431	

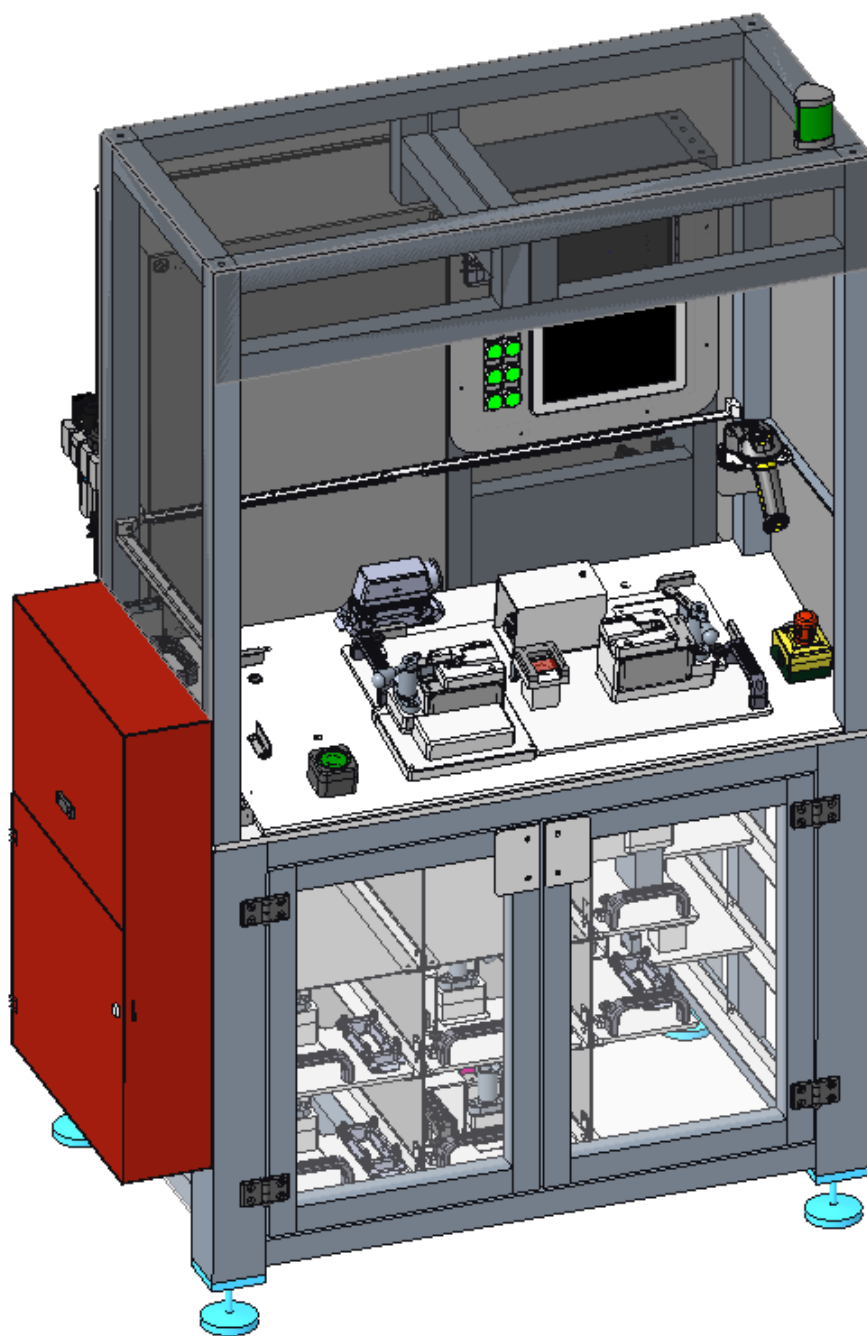
#### Dílčí závěr:

Pro hlavní konstrukční uzel byly vytvořeny dva návrhy. Z vypočtených výsledků vyšlo, že je výhodnější použít první návrh. Při konzultaci se zákazníkem bylo domluveno vybrat první návrh. Hlavním důvodem výběru byla ekonomičnost. U prvního návrhu, lze totiž ušetřit cca 30 000 Kč. Návrh konstrukčního uzlu bude použitý i na přestavbách, kde sice nebude potřeba elektrický ani pneumatický válec, avšak bude potřeba měřit a detekovat šroub uvnitř konektoru. Pro měření je tedy použit indukční analogový snímač (BAW0033) a optický jednocestný snímač (BOS0194, BOS0197) – ten je levnější než optický světelný snímač (BLA0007). Další výhodou zvolené varianty je možnost pohybovat pístem válce bez spuštění programu, a tím lépe nastavit a zajistit kabel.



## 5 KONSTRUKČNÍ NÁVRH JÚS, KTERÝ SPLŇUJE PARAMETRY RYCHLÉHO, BEZPEČNÉHO UPÍNÁNÍ DÍLŮ A ZOHLEDŇUJE AUTOMATIZACI PROCESU KONTROLY A MĚŘENÍ, VČETNĚ VÝBĚRU VHODNÝCH POHONŮ A PLC

Po schválení koncepčního návrhu zákazníkem bylo dalším krokem detailní zaměření se na jednotlivé části konstrukce jednoúčelového stroje. Při řešení konstrukčních částí vycházely návrhy z požadavků zákazníka a z bezpečnostních pravidel pro ochranu operátora.



Obr. 29) Detailní konstrukce jednoúčelového stroje

## 5.1 Zvolený pracovní postup

Operátor bude stát u stroje a po jeho levé straně se bude nacházet stolek s bednou s kabelovými svazky, a to vždy pouze s tím druhem svazku, který bude aktuálně testován. Na pravé straně bude stůl s kartonovou krabicí, do které bude operátor vkládat shodné kusy kabelových svazků, jenž prošly testem. Oba stolky nejsou vymodelované, zákazník využívá vlastní stolky i bedny.

Operátor vezme kabelový svazek z bedny a umístí oba jeho konektory do lůžek tak, aby konec konektoru s DM kódem byl uložen na pohyblivém lůžku. Každý konec konektoru musí operátor lehce stlačit (kvůli umístění pružiny) a následně zajistit mechanickou upínkou. Pokud obě mechanické upínky nejsou uzavřené, program nelze spustit (uzavření upínek se kontroluje pomocí indukčních snímačů). Pokud je vše správně nastaveno, operátor může spustit program pomocí dotykového spouštěcího tlačítka.

Při stisknutí spouštěcího tlačítka (nastartování programu) toto tlačítko svítí zeleně, dokud program nevyhodnotí všechny testované požadavky druhu kabelového svazku. Operátor tak přímo vidí díky spouštěcímu tlačítku, zdali testování stále probíhá. Ihned po spuštění programu se na displeji objeví všechny typy kontrol a měření, kterými daný druh kabelového svazku musí projít podle požadavku zákazníka. V průběhu testování jednotlivé kontroly buď zezelenají (to značí úspěšné absolvování kontroly) nebo zčervenají (tedy neúspěšné absolvování kontroly). Po jednotlivých testech a měřeních se na displeji ukáže okamžitá naměřená hodnota a vyhodnocení konkrétního testu, popř. měření. Tato vyhodnocení jsou vizualizována na displeji tak, že se na něm rozsvítí, buď zeleně napsané „OK“ (tj. naměřené hodnoty se pohybují v rámci tolerancí uvedených ve výkresové dokumentaci), nebo červeně napsané „LOW“ či „HIGH“ (tj. naměřená hodnota se nepohybuje v rámci tolerancí uvedených ve výkresové dokumentaci). Červené „LOW“ znamená, že naměřená hodnota je menší než nejmenší možný rozměr podle tolerance ve výkresové dokumentaci. V případě, kdy se červeně rozsvítí „HIGH“, pak je naměřená hodnota větší než největší možný rozměr podle tolerance ve výkresové dokumentaci.

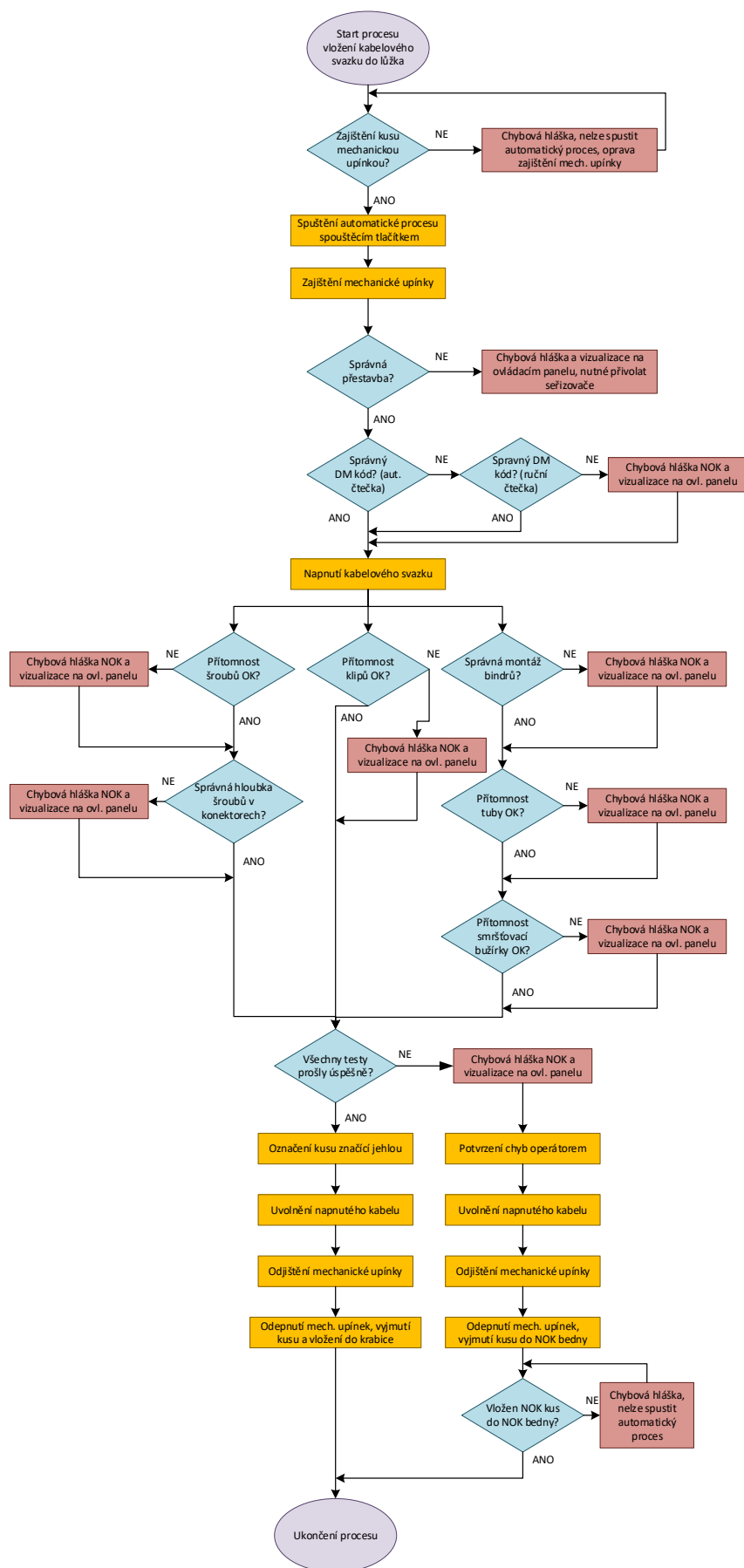
Na konci celého procesu testování, program kontroly a měření vyhodnotí jako celek a na displeji zobrazí výsledky. Pokud kabelový svazek úspěšně splňuje všechny požadavky, na displeji se rozsvítí zelené „OK“. V případě, že došlo k neúspěšnému absolvování některé z kontrol, nebo jednoho či více měření, na displeji se rozsvítí červené „NOK“.

Nyní k samotnému mechanickému procesu. Po spuštění programu dochází v pracovním prostoru stroje k zajištění mechanické upínky pohyblivého lůžka pomocí pneumatického válce. Následně se spustí kamera a záznam aktuálního stavu přestavby se zobrazí na obrazovce. Poté program vyhodnotí typ přestavby za pomoci speciálně obroběných částí na pohyblivém lůžku, podle barev lůžek. Následně se pomocí čtečky zkontroluje DM kód, který je umístěný na jednom z konektorů. Posléze dochází k napnutí pomocí pneumatického válce a k měření délky kabelového svazku za pomoci magnetického snímače, který snímá polohu pístu válce. U napnutého kabelového svazku se kontroluje také to, zda jsou oba šrouby přítomny v konektorech (kontrola probíhá pomocí optických jednocestných snímačů) a jak hluboko tyto šrouby v konektorech jsou (kontrola probíhá za pomoci indukčního analogového snímače). Dále stroj kontroluje přítomnost klipů (pomocí optického snímače), přítomnost tuby,

smršťovací bužírky a to, zdali jsou na kabelovém svazku správně namontovány klipy (tyto kontroly provádí kamera). Pokud všechna měření i kontroly proběhly úspěšně, dojde k označení konektoru kabelového svazku značící jehlou ovládanou pneumatickým válcem. Posléze je uvolněno napínání kabelového svazku a dochází k odepnutí zajištění mechanické upínky. V tu chvíli operátor může uvolnit mechanické upínky, kabelový svazek vyjmout a položit jej do připravené kartonové krabice, která je umístěna po pravé straně stroje.

V případě, že by došlo ke zjištění jakéhokoli nedostatku či závady během testování kabelového svazku, rozsvítí se červená kontrolka na displeji, na kterém jsou posléze uvedena i jednotlivá měření, a tak může být určeno, která část testování neproběhla úspěšně (viz výše). Operátor nyní musí potvrdit chyby. Po potvrzení neshodného kusu program uvolní zajištění mechanické upínky (pneumatický válec). Operátor musí neshodný kus vyjmout z mechanických upínek a vložit jej do NOK bedny. Program totiž nelze znovu spustit, dokud tento neshodný kus není vložen NOK bedny. Při umístění do NOK bedny kabelový svazek projde přes snímač, který jej detekuje a zajistí opětovné spuštění programu. Operátor následně může testovat další kabelový svazek.

Podle požadavků zákazníka je na stroji umístěný maják (BNI007). Tento maják signalizuje standardizované situace ve firmě zákazníka. Při bezporuchovém stavu stroje a při správném testování maják svítí zeleně. V případě že svítí oranžově, stroj je v seřizovací fázi, anebo dochází k výměně přestaveb. Pokud se maják rozblíká červeně, nastal na stroji chybový stav. Stroj v takové situaci automaticky zastaví testování a operátor musí přivolat seřizovače.



Obr. 30) Diagram jednoho pracovního cyklu testování kabelového svazku

### 5.1.1 Pracovní postup při výměně druhu kabelového svazku

Seřizovač potřebuje při výměně nejdříve zastavit program pomocí tlačítka „STOP“, které je na ovládacím panelu. Následně musí stroj přepnout do režimu pro seřizování stroje a výměnu přestavby. To mu umožní dvoupolohové tlačítko na ovládacím panelu. Posléze pokračuje odšroubováním výměnného lůžka u pohyblivé části. Toto lůžko je přichyceno pomocí dvou šroubů, přičemž přesnou polohu lůžka zajišťují kolíky a kovová pouzdra. Výměnné lůžko seřizovač vyjme z pohyblivé části a uloží jej na připravené odkládací místo na přestavbě, kde ho zajistí pomocí šroubů. Poté pokračuje s odpojením připojovacího elektrického konektoru. Elektrický konektor uloží a zajistí pomocí krytky, která je umístěna také na přestavbě. Následně přestavbu ručně odepne pomocí samosvorných čepů, vyjme ji mimo pracovní prostor a vloží do odkládacího prostoru, který je umístěn pod základní deskou stroje. Podle štítků vybere seřizovač potřebnou přestavbu, kterou vezme a založí do přesné pracovní polohy pomocí samosvorných čepů. Výměnné lůžko odšroubuje z odkládacího místa a vloží ho do přesné polohy na pohyblivou část. Přesná poloha je vymezena pomocí kolíků, lůžko se pak k desce přišroubuje pomocí šroubů. Po zajištění výměnného lůžka se připojí elektrický konektor ke stroji. Přestavba je nyní propojena se strojem. Nakonec seřizovač vybere v programu nastavení pro danou přestavbu a přepne program na výrobu. Seřizovač nakonec otestuje první kus nového druhu kabelového svazku, aby došlo k ověření toho, že proces výměny přestavby funguje správně. Následně již předá stroj operátorovi, který pokračuje v testování.

### 5.2 Výpočet časová analýzy procesu

V zadání této diplomové práce je uvedeno, že je nutné vypracovat jako jeden z hlavních cílů i potřebné výpočty vybraných komponent. A právě obsah této podkapitoly se tímto hlavním cílem zabývá. Nezbytným a důležitým údajem je u jednoúčelového stroje časová analýza jednoho pracovního cyklu stroje. V tomto případě se čas jednoho pracovního cyklu stroje rovná potřebnému času na otestování jednoho kusu kabelového svazku. Na základě analýzy času pracovního cyklu je následně určen počet kusů, které může stroj za rok otestovat. Zároveň se také na základě časové analýzy určí, zdali je řešení jednoúčelového stroje optimální, nebo je potřeba jej pozměnit.

### 5.2.1 Výpočet teoretického času pracovního cyklu

Zákazníkem je požadováno otestovat nejméně 450 000 kusů kabelových svazků za rok. Jednúčelový stroj bude pracovat ve dvousměnném provozu. Ze začátku bylo tedy nutné vypočítat nejdelší možný čas pracovního cyklu stroje.

**Časový fond stroje ve výrobě:**

$$T_{FS} = (D_V - D_{OP} - D_{ON}) \cdot t_s \cdot s \cdot k_C = (252 - 12 - 3) \cdot 7,5 \cdot 2 \cdot 0,95 = 3\,377,3 \text{ hod} \\ = 202\,635 \text{ min} \quad (2)$$

kde:  $D_V$  – počet pracovních dní za rok [dny] (252 pro rok 2021)

$D_{OP}$  – počet plánovaných dnů určených na opravu stroje za rok [dny], obvykle 12 dnů

$D_{ON}$  – počet neplánovaných dnů určených k opravě stroje za rok [dny], obvykle 3 dny

$t_s$  – směnový čas [hod], obvykle 7,5 hodin

$s$  – počet směn za den [-]

$k_C$  – koeficient využitelnosti stroje [-], obvykle (0,7- 0,95)

**Teoreticky nejdelší možný pracovní cyklus:**

$$C_t = \frac{T_{FS}}{P_K} \cdot 60 = \frac{202\,635}{450\,000} \cdot 60 = 27 \text{ s} \quad (3)$$

kde:  $P_K$  – požadovaný počet kusů za rok [-]

Z výpočtu nám vyšlo, že nejdelší možný čas jednoho pracovního cyklu stroje odpovídající požadavku zákazníka je 27 sekund. Do výpočtů nebyly zařazeny vedlejší časy, které jsou potřeba při výměně druhu kabelu. Při výměně druhu kabelu je nutné připočítat čas na výměnu lůžka, odpojení přestavby, uložení přestavby, vložení přestavby, zapojení přestavby a přepnutí programu.

Při návrhu byl teoretický pracovní čas cyklu rozdělen na 3 části. První část, dlouhá 9 sekund, je určena pro operátora, který musí za tento čas vzít kabelový svazek z bedny, vložit svazek do lůžek, zajistit kabelový svazek mechanickými upínkami a spustit program. Druhá část, rovněž trávající 9 sekund, je určena pro program, který automaticky provede všechny požadované kontroly a měření. Třetí část, také dlouhá 9 sekund, je znovu určena pro operátora, který musí za tento čas odemknout mechanické upínky, vyjmout kabel a vložit jej do připravené krabice. Při konzultaci se zákazníkem a s programátorem bylo zjištěno, že všechny časy jsou dostatečně naddimenzované a skutečný pracovní čas cyklu je výrazně nižší než vypočítaný teoretický čas pracovního cyklu.

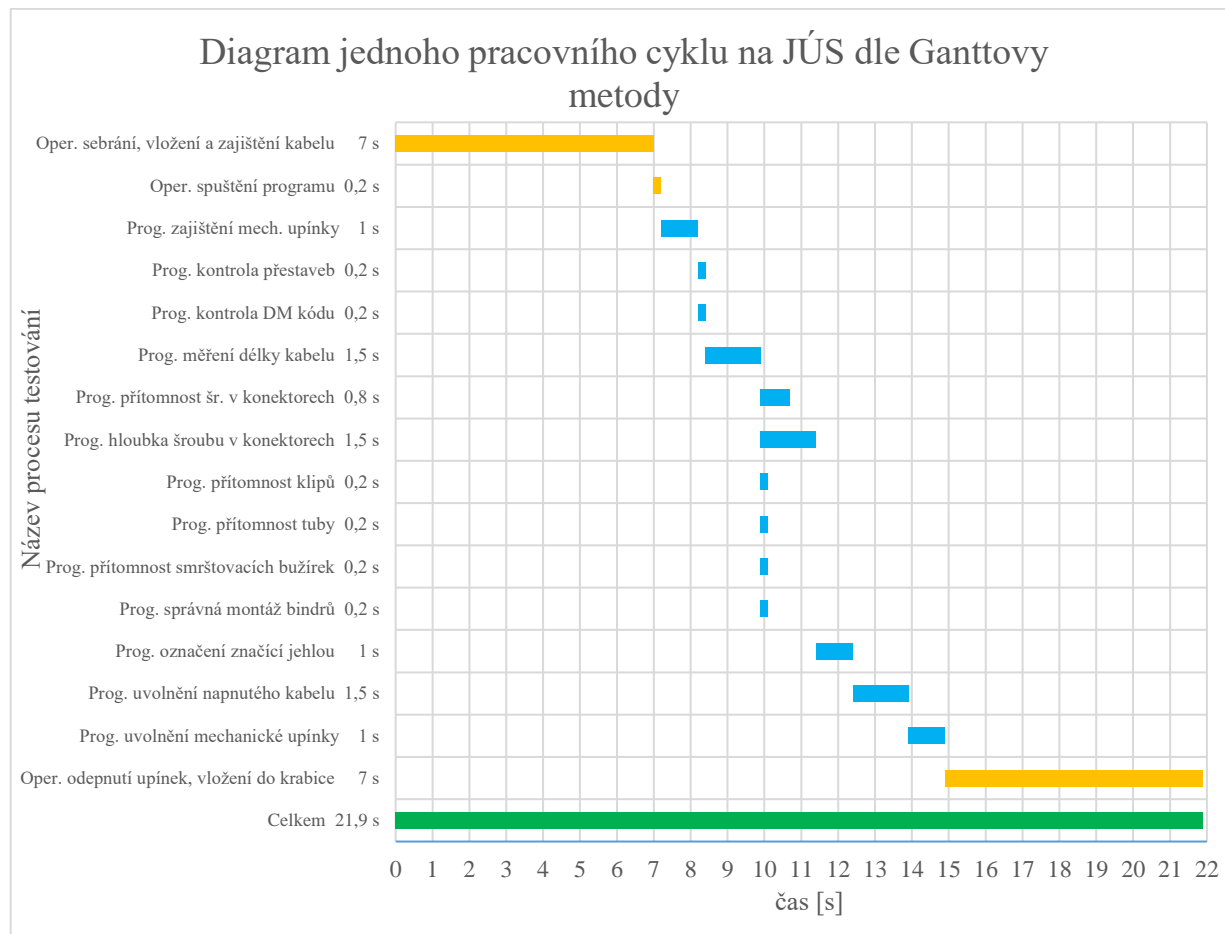
Časový návrh pracovního cyklu je důležitou pomůckou pro programátora. Ten si totiž může chystat program již v raných fázích projektu. Poté, co je sestaven stroj, programátor nachystaný program nahraje do PLC a posléze ho již pouze upravuje podle reálných podmínek stroje. Pokud by čas cyklu nestačil, lze ho mírně upravovat v některých částech (například u



pneumatických válců lze seřizovat škrtící ventily a tím zrychlit, či zpomalit potřebný pohyb pneumatických válců).

### 5.2.2 Čas pracovního cyklu

Časové hodnoty jednotlivých testování jsou odhadnuté na základě podobného, již fungujícího řešení stroje, na simulaci zakládání a testovacím procesu.



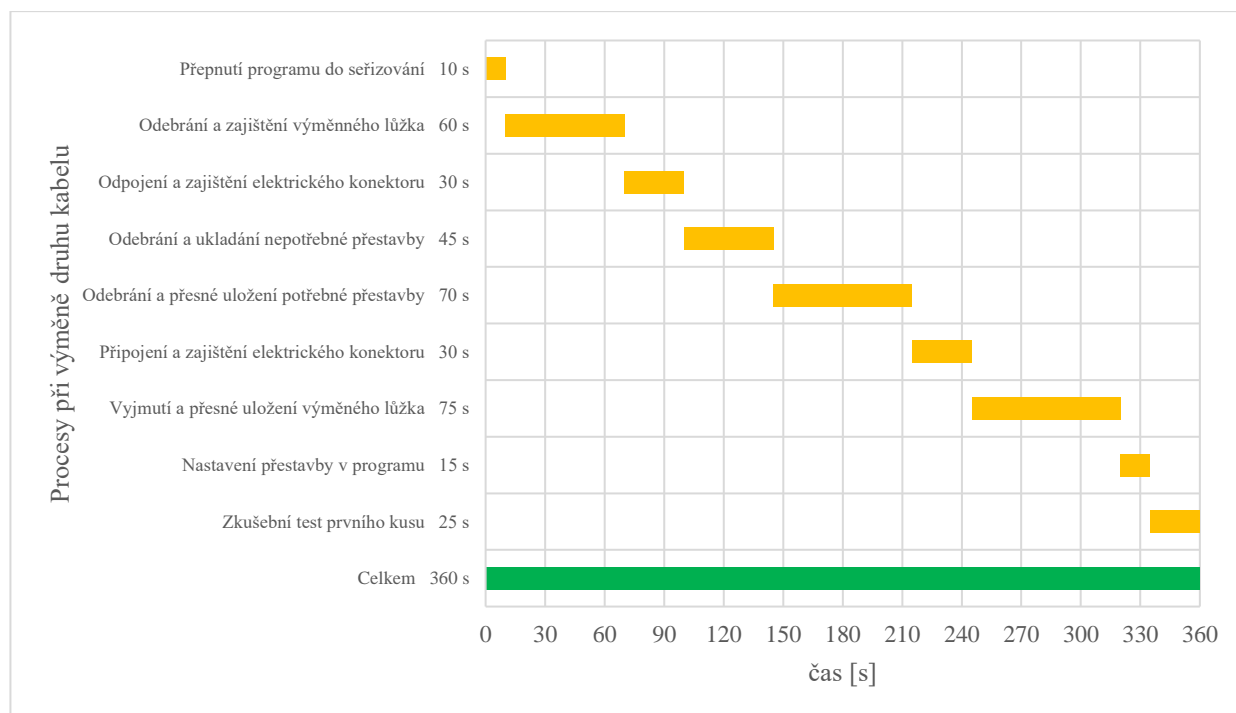
Obr. 31) Diagram jednoho pracovního cyklu na JÚS dle Ganttovy metody

Celkový čas jednoho pracovního cyklu je 21,9 s. Jak je vidět v diagramu některé druhy testování probíhají zároveň, a tím je dosaženo kratšího času cyklu. Procesy v diagramu znázorněné oranžovou barvou koná operátor. Procesy označené modře koná program. Operátor má na vkládání a vyjmutí kabelového svazku sedm sekund.

Při ukázce stroje zákazníkovi bylo provedeno testování, při kterém bylo dosaženo celkového času 20 sekund, přičemž čas byl ušetřen právě v procesech, které vykonává operátor (oranžově znázorněná část diagramu). Z důvodu, že testování neproběhlo v dostatečně velké sérii pro ověření potřebného času operátora, je při dalších výpočtech ponechán celkový čas jednoho pracovního cyklu 21,9 sekund.

### 5.2.3 Čas při výměně druhu kabelových svazků

Jednoúčelový stroj je určený pro sedm druhů kabelových svazků. Jednotlivé druhy kabelových svazků se budou měnit podle potřeby výroby. Zákazníkem je požadováno otestovat 450 000 kusů kabelových svazků za rok. Do tohoto množství je také potřeba započítat potřebný čas na výměnu druhu kabelových svazků. Uvedené časové hodnoty jsou odhadnuté, přičemž všechny časy jsou raději lehce naddimenzované. Při testovací fázi stroje, bylo průměrně dosaženo reálného času výměny druhu kabelového svazku okolo pěti minut. Pro další potřebné výpočty byla použita delší varianta výměny druhu kabelového svazku, a to ta s hodnotou šest minut.



Obr. 32) Diagram potřebného času při výměně druhu kabelového svazku

### 5.2.4 Počet otestovaných kusů za rok

Při návrhu řešení stroje byl se zákazníkem konzultován počet výměn druhu kabelového svazku za jednu směnu. Zákazník nám garantoval maximálně jednu výměnu druhu za směnu. Čas pracovního cyklu je 21,9 s. Výměna druhu kabelového svazku trvá 360 s.

**Výpočet počtu otestovaných kusů za směnu:**

$$K_{Ssměna} = \frac{3600}{C} \cdot \left( t_s - \frac{t_v}{3600} \right) \cdot k_c = \frac{3600}{21,9} \cdot \left( 7,5 - \frac{360}{3600} \right) \cdot 0,85 = 1\,033 \text{ ks/směnu} \quad (4)$$

kde:  $C$  – čas pracovního cyklu [s]

$t_v$  – čas pro výměnu druhu kabelu [s]

**Výpočet počtu otestovaných kusů za rok:**

$$K_{Srok} = (D_V - D_{OP} - D_{ON}) \cdot s \cdot K_{Ssměna} = (252 - 12 - 3) \cdot 2 \cdot 1\,033 = 489\,642 \text{ ks/rok} \quad (5)$$

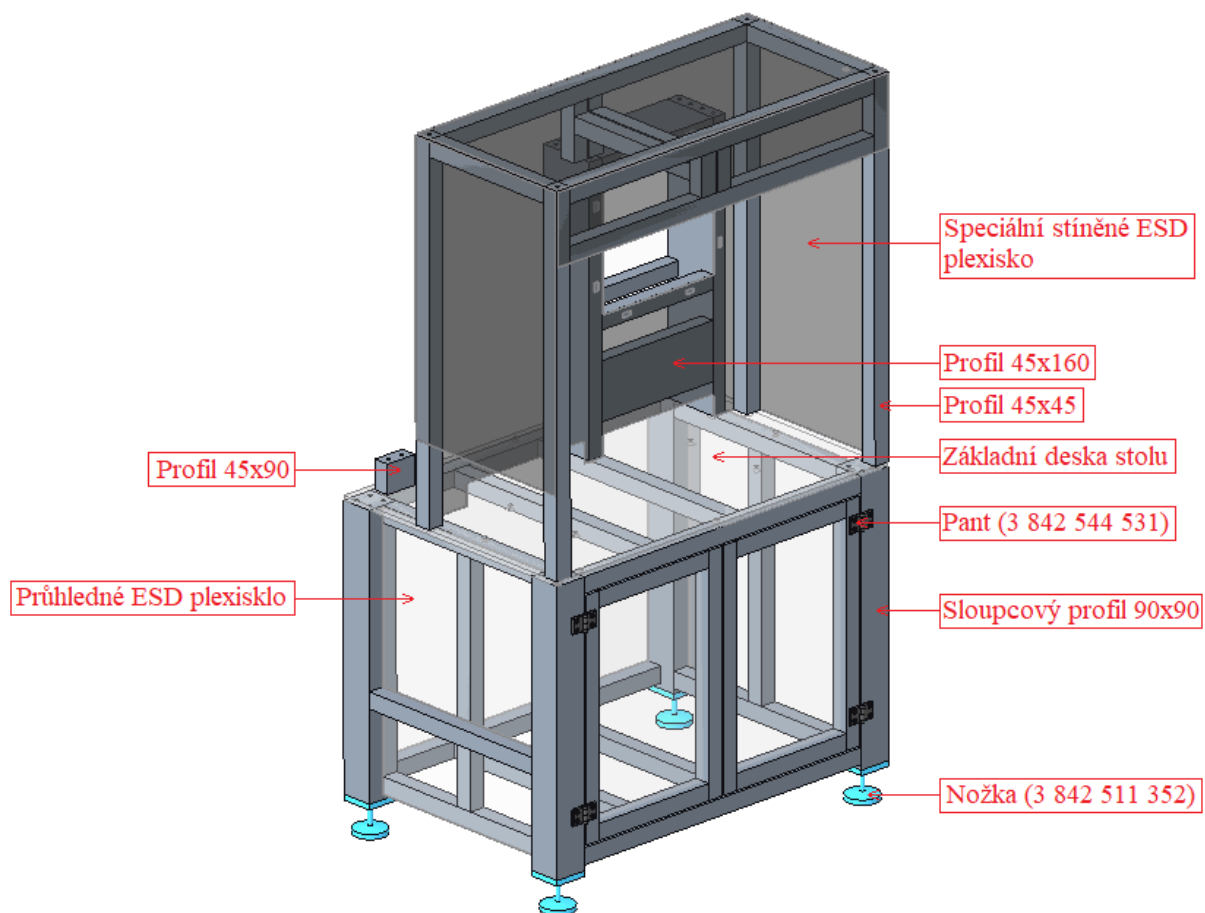
## Dílčí závěr:

Při výpočtu nám vyšlo 489 642 otestovaných kusů za rok. Požadavek od zákazníka byl otestovat 450 000 kusů za rok. Řešení jednoúčelového stroje je tedy optimální a splňuje požadavek zákazníka. Ve výpočtu byly zahrnuty delší časy pracovního cyklu stroje, delší čas pro výměnu druhu kabelového svazku a očekávané i neočekávané odstávky stroje. Reálné počty otestovaných kusů za rok by tedy měly být vyšší než vypočítaná hodnota.

## 5.3 Jednotlivé konstrukční části stroje

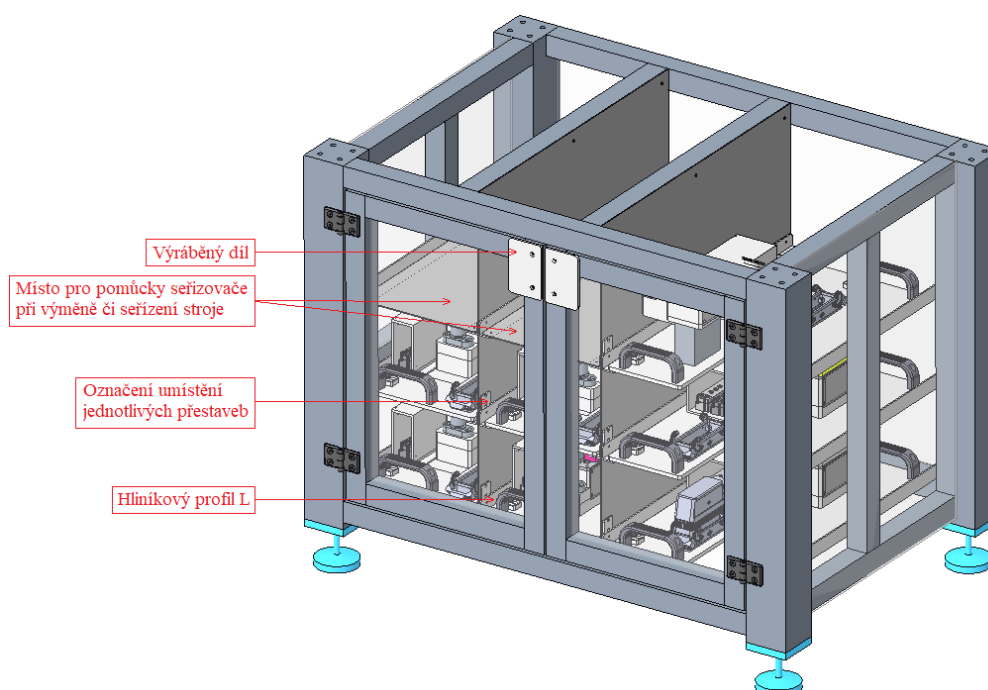
### 5.3.1 Profilová konstrukce stroje

Při návrhu konstrukce se začalo celkovou profilovou konstrukcí. Profilová konstrukce je složená z hliníkových profilů od společnosti Bosch. Jednotlivé profily byly zakoupeny ve standardizovaném polotovaru o délce 6 metrů. Na profilovou konstrukci jsou použity tři tyto standardizované profily, které jsou nařezané a smontované podle výkresové dokumentace návrhu. Především je pak na konstrukci použit profil 45x45 (Bosch 3 842 990 520), pro zachycení hlavní hmotnosti sloupků nožek profil 90x90 (Bosch 3 842 992 415), posledním použitým profilem je profil 45x160 (Bosch 3 842 993 143). Tento profil je použitý pro umístění a uchycení elektrických zařízení, například ventilového terminálu, sběrnice apod.



Obr. 33) Zjednodušeně zobrazená profilová konstrukce JÚS

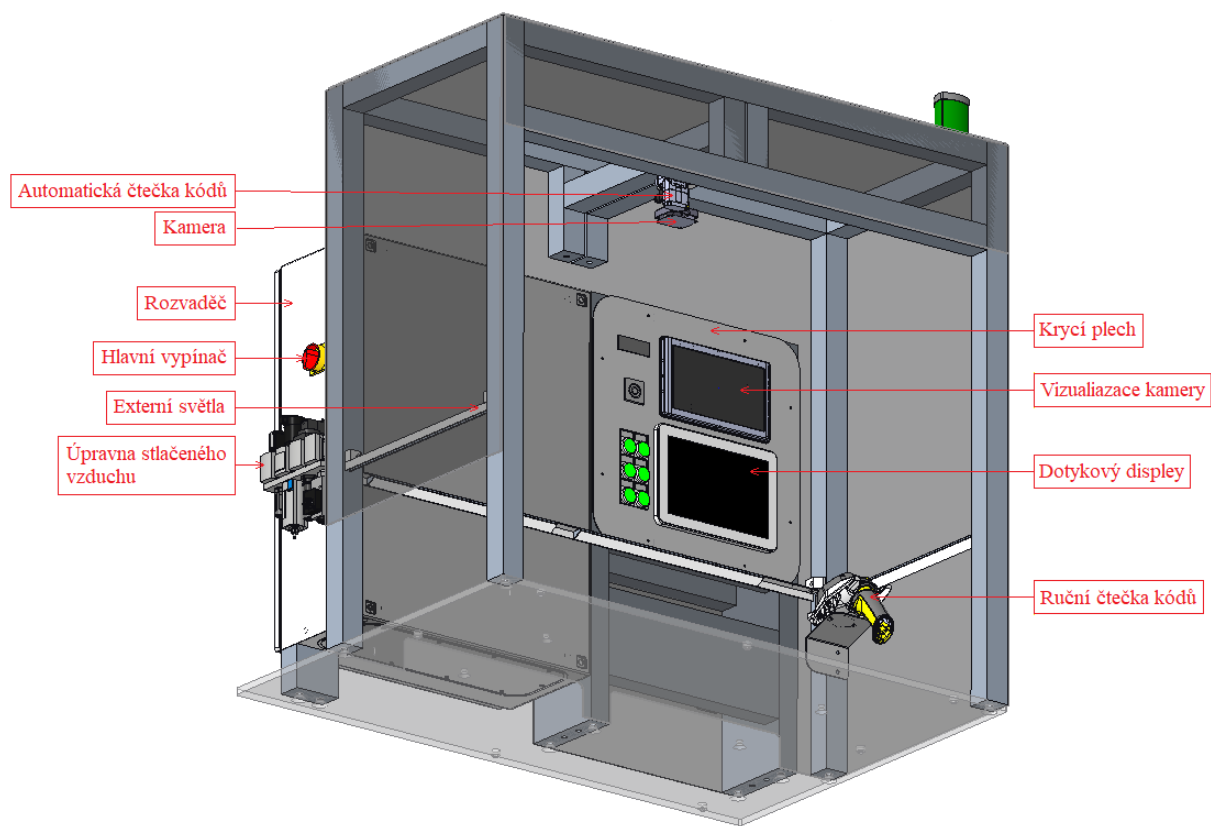
Celá profilová konstrukce je postavena na čtyřech nožkách. Nožky jsou od společnosti Bosch (3 842 511 352). Přichycení bočních profilů konstrukce je, buď pomocí hliníkových trojúhelníků (3 842 523 558), nebo pomocí tzv. „quick“ spojek (3 842 535 466). Pro umístění nepotřebných přestaveb je pod základní deskou vytvořený úložný prostor. Do úložného prostoru se dostane seřizovač přes dveře, které jsou umístěny ze přední strany stroje. Seřizovač má všechny potřebné přestavby a pomůcky pro výměnu přestaveb umístěné v úložném prostoru, čímž dojde ke snížení potřebného času na výměnu a seřízení nové přestavby. Všechny přestavby mají svá daná umístění v úložném prostoru. Pro lepší orientaci jsou po stranách umístěné štítky s čísly jednotlivých přestaveb. Pro uchycení dveří jsou použity panty (3 842 544 531) a na dveřích je zevnitř namontován doraz (3 842 524 986). Na dveřích chybí madla pro otevření, a to z důvodu zvětšení potřebného pracovního prostoru operátora. Na otevření dveří jsou zde vyrobené hliníkové desky. Dveře budou otevírány pouze při výměně druhu kabelu na stroji, a to maximálně jednou za směnu. Z důvodu požadavku zákazníka na odolnost proti prašnosti je spodní část zakrytovaná ESD průhlednými plexiskly.



Obr. 34) Spodní část profilové konstrukce

Základní deska stolu je přichycena na spodní část profilové konstrukce. Horní část profilové konstrukce je přichycena na základní desku stroje. Na vrchní části jsou připravené dvě příčky z profilů. Na příčky budou přichyceny čtečka (pro čtení DM kódu), kamera (pro čtení jednotlivých přestaveb a detekování jednotlivých dílů daného kabelového svazku) a osvětlení (sloužící k lepšímu nasvícení přestaveb). Pro horní část krytování jsou použita speciální plexiskla pro krytování, přičemž hlavním úkolem těchto plexiskel je odstínit okolní osvětlení od stroje. Tím by mělo být dosaženo minimálních změn v osvětlení během dne, noci nebo v přechodu dne na noc a naopak. Minimalizovat co nejvíce tyto změny je nutné proto, aby kamera měla vždy stejné podmínky. Vnitřní osvětlení neovlivňuje okolí stroje. Na zadní část základní desky stolu je přichycený krátký kus profilu 45x90 (3 842 990 520). Profil je uchycený na desce, a to kvůli umístění rozvaděče. Rozvaděč je přichycen právě k tomuto profilu z důvodu

vedení jednotlivých propojovacích kabelů ze spodu do rozvaděče. Právě proto rozvaděč není umístěn přímo na základní desce, ale ve výšce 80 mm nad základní deskou stolu.

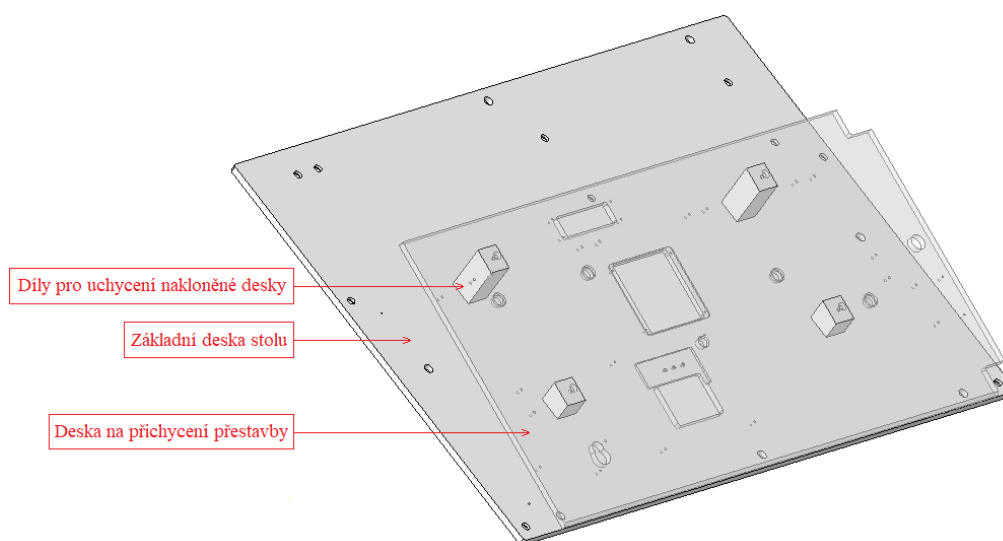


Obr. 35) Horní část profilové konstrukce

Požadavkem zákazníka bylo, aby celá konstrukce byla zkonstruována podle zásad ESD zóny. Z toho vyplynulo, že všechny jeho části musí být z elektro vodivého materiálu. To vede k vyšší bezpečnosti operátora. Při vzniku elektrostatického výboje nám náboj projde přes vodivé části stroje a je sveden do země. Z tohoto důvodu byla tedy všechna plexiskla vyrobena jako ESD (tj. antistatická) plexiskla.

### 5.3.2 Základní deska stolu

Základní deska stolu je vyrobena z hliníkové slitiny (duralu). Je přichycena na spodní část profilové konstrukce. V základní desce jsou vyrobené díry pro šrouby, které slouží k uchycení horní profilové konstrukce. Další vyrobené díry v základní desce slouží na uchycení dílů, které drží desku, na které se budou měnit jednotlivé druhy přestaveb. Deska přestaveb je nakloněná pod úhlem 10 stupňů. Deska je nakloněná kvůli lepší ergonomii operátora, menšímu odrazu světla do kamery a lepší manipulaci při výměně přestaveb. Na základní desce nejsou vytvořené otvory pro průchod kabelů, a to z důvodu umístění rozvaděče nad deskou. Většina kabelů je vedena právě pod deskou, na které jsou přichycené jednotlivé přestavby a kabeláž dále směřuje přímo do rozvaděče.



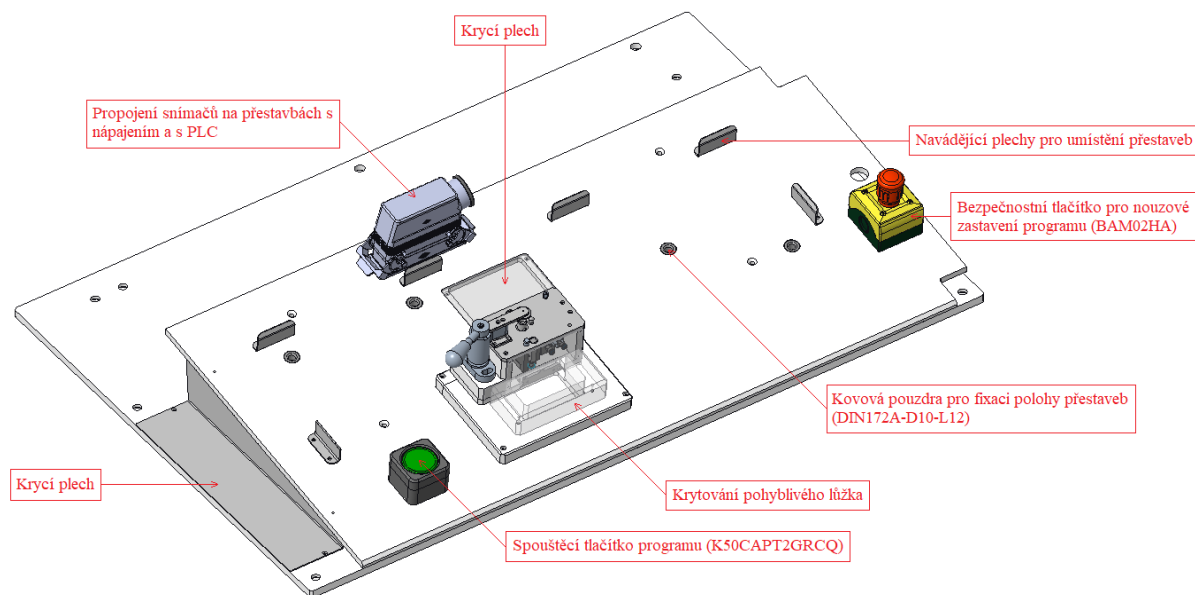
Obr. 36) Základní deska stolu

### 5.3.3 Deska přestaveb

Deska je vyrobena z hliníkové slitiny. Na desce je přidělaná pohyblivá část výměnného lůžka pro uchycení jednoho konektoru (jedná se o konektor, na kterém je DM kód). Na desce přestaveb je pevně přichycen pneumatický válec (DGST-8-40-E1A), který posunuje celý konstrukční uzel, a tím měří danou délku kabelového svazku. Okolo je namontované krytování, které minimalizuje možnost poranění operátora při měření kabelu. Ke spuštění programu je na desce přidělané dotykové spouštěcí tlačítko (K50CAPT2GRCQ). Tlačítko je umístěné tak, aby byl k němu zajištěn co nejlepší přístup pro operátora. Tlačítko je přichycené přes obráběné díly, které jsou obrobene z plastu (POM). Z důvodu vyšší bezpečnosti je na desce přidělané i bezpečnostní tlačítko pro nouzové zastavení programu. Toto tlačítko je umístěné na druhé straně od spouštěcího tlačítka, aby nemohlo dojít k záměně obou tlačítek. Tlačítka jsou dále podle bezpečnostních norem vizuálně odlišena různými barvami.

Pro lepší navádění při výměně přestaveb jsou na desce přidělané naváděcí plechy. Pro přesné zajištění polohy přestaveb jsou umístěny přímo na kovových pouzdrech (DIN172A-D10L12). Do těchto pouzder budou pomocí čepů přesně polohovány jednotlivé přestavby. Na propojení elektrických částí jednotlivých přestaveb (snímače) se strojem je zaveden připojovací konektor (Mao 24/36 od společnosti ILME). Při výměně přestaveb je nutné nejprve odpojit

tento konektor a následně odejmout a uložit přestavbu do úložného prostoru. Následně je nutné vzít potřebnou přestavbu, umístit ji do přesné polohy a připojit k ní konektor. Pokud konektor nebude připojen, přestavba nebude aktivní a nebude plnit potřebnou kontrolní a měřicí funkci. Uprostřed desky je vytvořený otvor, který slouží pro montáž. Otvor je zakrytý plechem, který se dá v případě potřeby údržby odstranit. Z levé strany je namontován krycí plech, který znemožňuje operátorovi vložit ruce pod desku.



Obr. 37) Deska přestaveb

### 5.3.4 Vybraná konstrukční přestavba

Pro ukázkou přestaveb byla vybrána přestavba s prvním druhem kabelového svazku. Přestavba se skládá ze základní desky přestavby, na které jsou připevněny všechny díly. Cílem bylo dosáhnout toho, aby přestavby měly co nejmenší hmotnost a tím bylo možné dosáhnout snazší manipulace s nimi při jejich výměně.

Pevné lůžko je vytvořené, stejně jako zvolená varianta konstrukčního uzlu, bez pneumatických válců. Zákazník nevzněl požadavek, aby se lůžko pohybovalo, a tak zajištění proti odejmutí kabelového svazku stačilo vyřešit pouze na jedné straně. Také označení jehlou je pouze na jedné straně, proto je tento proces vyřešen na pohyblivém lůžku. Tím bylo docíleno toho, že při výměně přestaveb není nutné řešit připojení stlačeného vzduchu.

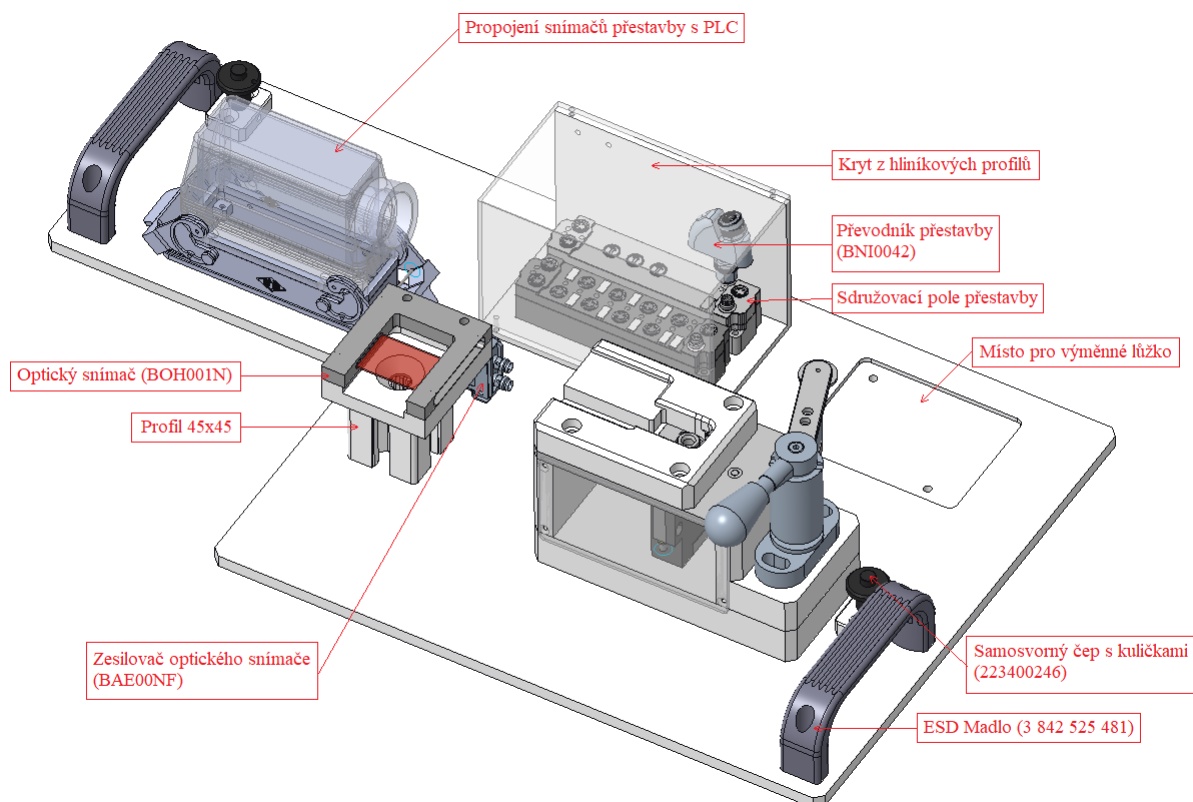
Na přestavbách se kontroluje přítomnost šroubu v druhém konektoru (kontrolu zajišťují jednocestné optické snímače BOS0194, BOS0197). Dále se měří hloubka šroubu pomocí ocelové hřídele a indukčního analogového snímače (BAW0033). Jelikož není žádoucí, aby obrobený díl, ve kterém jezdí hřídel nahoru a dolů ovlivňoval indukční analogový snímač, je opět obroben z plastu (POM). Pro potřebu vracení hřídele do zpětné pozice směrem nahoru využita pružina, která vrátí hřídel zpět a zároveň pomůže vytlačit konektor z lůžka. Dále je na přestavbách indukční snímač, který kontroluje, jestli je mechanická upínka v uzavřené poloze. Pevné lůžko je připevněné k základní desce přestaveb pomocí šroubů.



Pro kontrolu přítomnosti jednotlivých druhů klipů jsou na přestavbách optické snímače (BOH001N). Tyto snímače mají širší světelný paprsek. To umožňuje využívat větší prostor při zakládání a při výměně kabelového svazku. K těmto snímačům jsou potřeba také zesilovače (BAE00NF), na kterých lze nastavit zesílení signálu, který dál putuje do PLC. Snímače pro detekci klipů jsou připevněné pomocí obráběného dílu a profilu 45x45 k desce přestavby.

Jednotlivé kabely putují od snímačů do sružovacích polí, která jsou přichycená v hliníkových L-profilech, aby bylo zamezeno vniku operátora do prostoru sružovacích polí. Na výstupním kabelu je umístěn převodník (BNI0042). Všechny elektrické části snímačů končí v elektrickém konektoru, který elektricky propojuje jednotlivé snímače přestavby s PLC strojem a jeho dalšími částmi.

Pro manipulaci s přestavbami jsou na desce umístěná dvě ESD madla (3 842 525 481). Vedle madel jsou umístěné samosvorné čepy s kuličkami (223400246), které zajišťují správnou polohu přestavby a zajišťují ji tak, aby nedošlo k jejímu samovolnému odepnutí. Čepy jsou umístěné v blízkosti madla, a tak jednoduchou výměnu zvládne zajistit jeden seřizovač. Pro vytažení přestavby z desky je nutné nejprve zmáčknout čepy a až poté vytáhnout přestavbu. Čepy obsahují kuličky, které jsou v normální (nezmáčknuté) pozici vystrčené přes průměr čepu. Aby byly čepy pevně uchycené, jsou připevněné na obráběcích dílech pomocí dvou červů M5x5 (jedná se stavěcí šroub s vnitřním šestihranem, díl normovaný dle normy ISO 4026), které jsou umístěné naproti sobě.

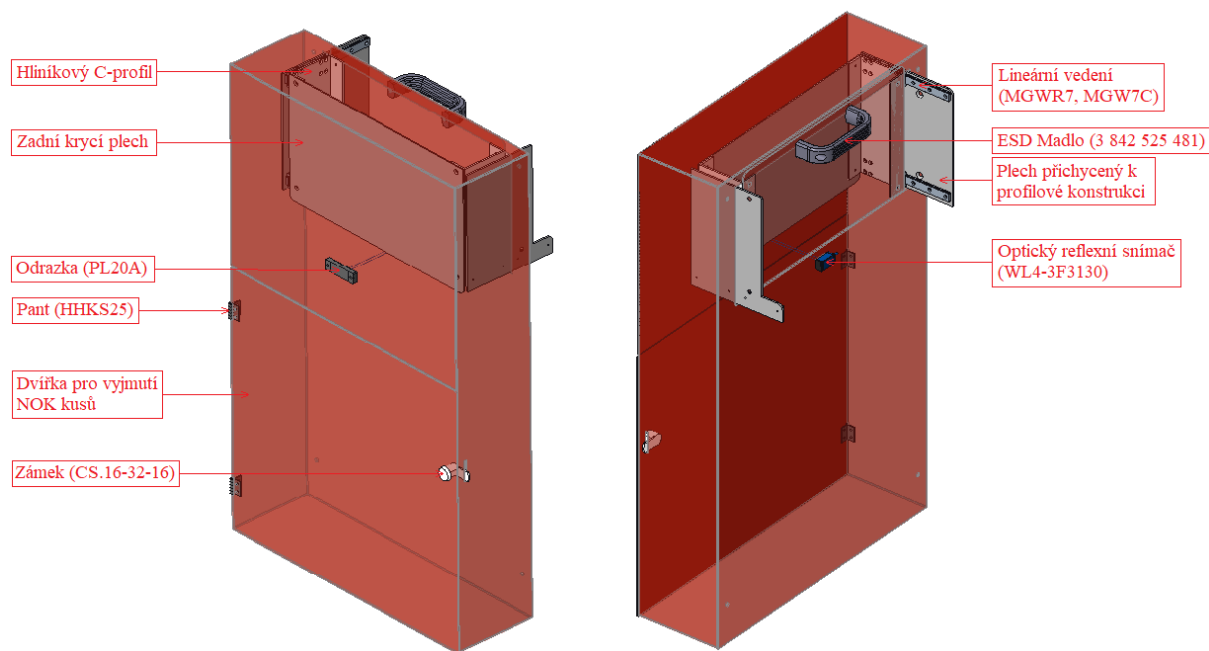


Obr. 38) Přestavba pro první druh kabelu (záměrně rozostřeno)



### 5.3.5 Bedna na neshodné kusy (NOK bedna)

Bedna na neshodné kusy (dále jen NOK bedna) je umístěna po levé straně stroje. Jedná se o svařovanou konstrukci, která je vyrobena z dvoumilimetrového plechu. NOK bedna má na přední straně vytvořená dvířka se zámkem (CS.16-32-16). Dvířka jsou uchycena na pantech (HHKS25). Pomocí dvířek se lze dostat a vyjmout z bedny neshodné kusy kabelu. Celá krabice má podle požadavku zákazníka červený komaxitový povlak, zejména kvůli lepší přehlednosti pracovního místa. Na vkládání neshodného kusu je vytvořený pojezdový otvor, který je umístěn zevnitřku stroje. Pojezdový otvor se skládá z plechu, na kterém je přechyceno ESD madlo (3 842 525 481). Pojezd plechu je vytvořen pomocí lineárního vedení (MGWR7, MGW7C) od společnosti Hiwin. Vozíky jsou přichyceny na hliníkovém C-profilu. Lineární vedení je přichyceno přes plech na horní část profilové konstrukce stroje. Pro zajištění toho, aby byl neshodný kus vložen do NOK bedny je na této bedně umístěný optický reflexní snímač (WL4-3F3130) a odrazka (PL20A). Pokud je tedy vložen neshodný kus kabelu do bedny, přeruší se světelný paprsek, a tím dá vědět snímači, že kus je v NOK bedně. Program je poté možné znovu spustit. V momentě, kdy je paprsek snímače přerušen déle než 10 sekund, stroj přejde do chybového stavu. Operátorovi se následně ukáže na displeji plná NOK bedna. Operátor musí zavolat seřizovače, který odemkne zámek a vyjme všechny NOK kusy. Následně uzavře NOK bednu a resetuje program.



Obr. 39) NOK bedna (ze dvou pohledů)

## 5.4 Rozvaděč

Rozvaděč je nedílnou součástí každého stroje. Jelikož se jedná o část, která musí splňovat několik norem, je výhodnější rozvaděč koupit než jej samostatně vyrábět. Je důležité, aby byl v rozvaděči dostatečný prostor pro všechny potřebné elektrické a bezpečnostní prvky. Proto byl zvolen rozvaděč AX1057.000 od společnosti Rittal. Rozvaděč je vyroben z ocelového plechu, o tloušťce dva milimetry. Jedná se o rozvaděč s rozměry 500x700x250 mm a stupněm krytí IP66. Na dveřích má nalepené těsnící gumy a je uzavřen dvěma zámky. To znamená že je rozvaděč prachu vzdorný a je chráněn proti intenzivně tryskající vodě. Při montáži se však do rozvaděče bude vrtat, proto se stupeň krytí po montáži změní na IP60.

Do rozvaděče byly v průběhu montáže vyvrtané díry pro připevnění druhé části rozvaděče (což umožnilo k sobě připojit zadní a dolní část rozvaděče). Na pravé straně je umístěn hlavní vypínač (VCD 02), který slouží k odpojení stroje od elektrické sítě. Nad hlavním vypínačem je zelená nálepka s nápisem „Hlavní vypínač“ pro lepší zvýraznění vypínače, a tím splnění bezpečnostních požadavků. Pod tímto vypínačem je umístěná úpravna stlačeného vzduchu, která slouží k přívodu stlačeného vzduchu z centrální sítě. Pod úpravnou je vpravo dole pomocná zásuvka na 230 V (104-0bs). Vedle zásuvky je pak vytvořená zásuvka pro síťový kabel RJ45 pro přístup programátora. Na dveřích je přidělaná signálka (XB5 AVM1), která pomocí světla ukazuje, zda je stroj zapojen do elektrické sítě nebo není. Na rozvaděči jsou také nálepky s nápisem „Pozor elektrické zařízení!“ a „Nehas vodou ani pěnovými přístroji“ dle bezpečnostních požadavků zákazníka.



Obr. 40) Ukázka rozvaděče na jednoúčelovém stroji

### 5.4.1 Ovládací panel

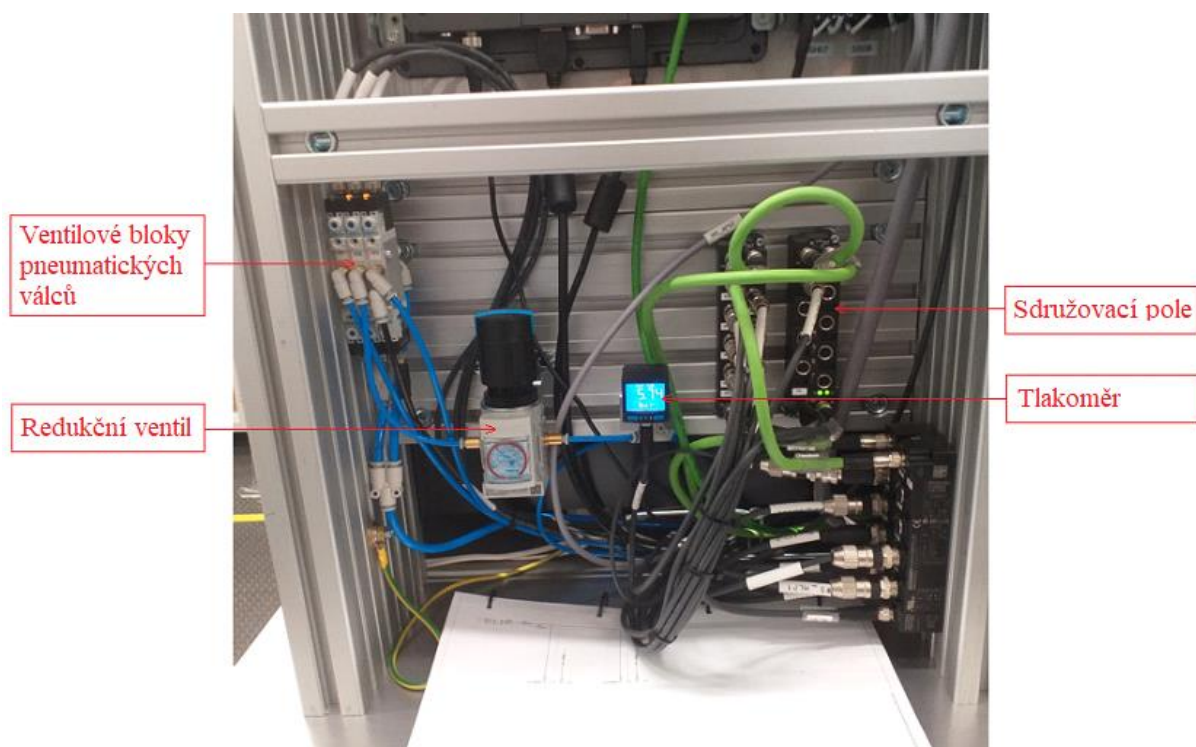
Komunikace mezi strojem a operátorem bude probíhat prostřednictvím ovládacího panelu. Ovládací panel je umístěn uvnitř stroje na horní části profilové konstrukce. Pomocí panelu lze upravovat a seřizovat stroj. Ovládací panel obsahuje dva displeje, horní displej slouží k vizualizaci kamerového záznamu, spodní pak k zobrazení programu z PLC. Spodní displej slouží také k seřizování stroje. Na displeji je při testování možné sledovat jednotlivá měření a kontroly, které jsou prováděny na kabelovém svazku, a tím lze přesně určit chybnou kontrolu nebo měření daného svazku.

Panel obsahuje také pět tlačítek, která slouží k základnímu ovládání stroje. První tlačítko „Start“ slouží k nastartování programu pro jednotlivé druhy kabelových svazků. Tlačítko „Stop“ slouží k ukončení programu pro daný typ kabelového svazku. Tlačítko „Zapnout“ nastartuje stroj a program a připraví jednotlivé snímače k testování. Tlačítko „Vypnout“ postupně vypne program a následně i celý stroj. Při nouzovém zastavení je potřeba zmáčknout tlačítko „Reset nouzového zastavení“, které je umístěné rovněž na panelu. Pro seřizování slouží dvoupolohový ovladač s aretací. V pozici 0 je program k režimu výroby a v pozici 1 je program v režimu seřizování.



Obr. 41) Ovládací panel jednoúčelového stroje

Zadní část ovládacího panelu je zakrytá pomocí profilové konstrukce a zadním plechem, který je možno odstranit. V této části panelu jsou umístěná sdrůžovací pole, kabely pro propojení jednotlivých elektrických zařízení s rozvaděčem, tlakoměr, ventilové rozvaděče pneumatických válců a potrubí pro rozvody stlačeného vzduchu.



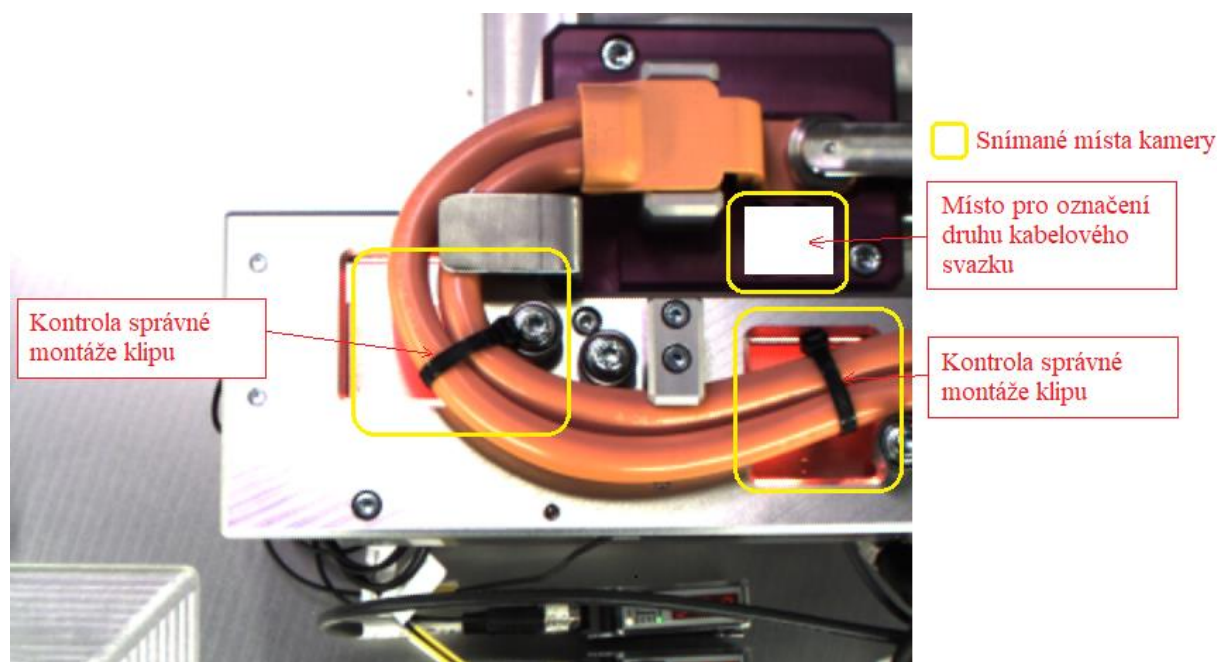
Obr. 42) Ukázka zadní spodní části ovládacího panelu jednoúčelového stroje

Všechny elektrické prvky, jako například snímače jsou zvoleny s vývodem v konektoru M8 nebo M12. Důvodem je snaha o standardizaci při montáži, ulehčení montáže a následných případných výměn prvku při jeho poruše. Při poruše elektrického zařízení (snímače apod.) je již vyvedená kabeláž a dochází pouze k výměně daného elektrického zařízení, který se napojí na původní kabel. Standardizace umožňuje skladovat menší množství elektrických součástek. Pro snížení počtu kabelů ve stroji jsou zde umístěná sdružovací pole. Do sdružovacích polí jsou napojené všechny druhy snímačů, které mají binární výstup. Sdružovací pole lze následně vést přímo do rozvaděče.

### 5.4.2 Kamerový systém

Kamerový systém na jednoúčelovém stroji slouží ke kontrole několika částí kabelového svazku a k určení potřebné přestavby. Pro tyto účely byl vybrán, za pomoci výrobce kamer, kamerový systém IS2000. Výhodou kamerového systému je jeho nastavení na všechny druhy kabelových svazků. Při výměně druhu kabelového svazku se automaticky změní také snímání kamerového systému podle nastavení nového testovacího druhu kabelového svazku tak, aby byl kamerový systém přenastaven na tento nový druh. Kamerový systém je umístěn na horní části profilové konstrukce. Ke snímání obrazu dochází pouze v určitém zorném rámečku, který se zvětšuje spolu se vzdáleností kamery od snímání plochy. Optimální vzdálenost pro kamerový systém IS2000 a velikost jeho rámečku je v modelu vymodelována pomocí skici. V tomto rámečku je nutné mít umístěné všechny části kabelových svazků, které budou pomocí kamery kontrolovány. Pro zvýšení kvality snímání jsou na stroji namontována externí světla, která neoslňují operátora. Kamerový systém kontroluje tyto části:

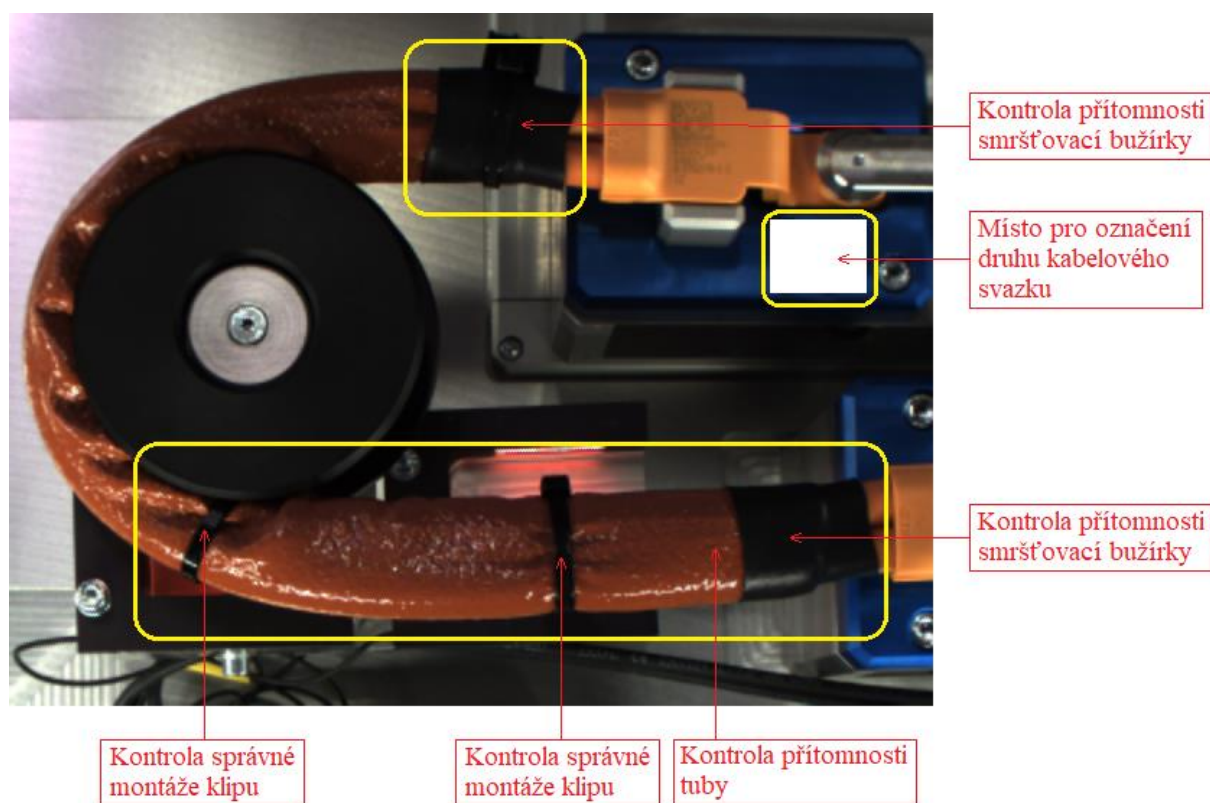
- správná přestavba – kontrola pomocí barvy a obráběného popisu na jednom místě;
- správná montáž bindrů – kontrola orientace bindru;
- přítomnost tuby – kontrola tuby pomocí barvy (červená) (u 5, 6 a 7 druhu svazku);
- přítomnost smršťovačky – kontrola pomocí barvy (černá) (u 5, 6 a 7 druhu svazku);



Obr. 43) Kamerové snímání OK kusu 3. druhu kabelového svazku

Pro jednotlivé druhy kabelových svazků jsou přesně určena místa, která mají být kamerou snímána. Na obrázku výše můžete vidět snímání místa pro třetí druh kabelového svazku, na obrázku níže pak můžete vidět snímání místa pro pátý druh kabelového svazku. Místo pro označení druhu je schválně odstraněno z důvodu anonymizace názvů svazků.





Obr. 44) Kameratechnické snímání OK kusu 5. druhu kabelového svazku

Kameratechnický systém IS2000 dokáže snímat také DM kód. Výrobce kamer však bylo doporučeno použít čtečku, která je pro čtení kódů přímo určená, a to z důvodu vzdálenosti kamerového systému od snímaného kódu. Kameratechnický systém je také, jak bylo již zmíněno, použit na rozpoznávání jednotlivých přestaveb. Původně bylo zamýšleno používat na rozpoznání přestaveb RFID čipy. Po zjištění, že přestavby lze rozpoznávat pomocí kamerového systému byly však čipy zamítnuty z důvodu zbytečného navyšování nákladů. Pro rozpoznání jednotlivých druhů přestaveb bylo na všechna lůžka použito barevné eloxování, přičemž žádná dvě lůžka nemají stejnou barvu. Barevné eloxování jednotlivých lůžek je levné, na rozdíl od nákupu a použití RFID čipů. Barevné eloxování vede také k větší přehlednosti lůžek při výměně přestaveb. Při výměně seřizovač vyměňuje přestavbu a výměnné lůžko se stejnou barvou eloxování. Tím je dosaženo nižšího rizika záměny přestaveb nebo výměnných lůžek. Pro jistotu je na výměnných lůžkách obrobena označení druhu kabelového svazku. Obrobené značení je na každém druhu kabelového svazku jiné a tuto část také snímá kamerový systém. Toto označení je v diplomové práci pozměněno z důvodu požadavku zákazníka.

### 5.4.3 Čtečka DM kódu

Na čtení kódu byla do konstrukce jednoúčelového stroje vybrána čtečka DM262. Jedná se o CCD čtečku, která je určena pro čtení 2D kódů. Čtečka navíc neoslňuje operátora a nemůže mu způsobit poranění očí, na rozdíl od laserové čtečky. Čtečka je umístěna na horní části profilové konstrukce. Čtení DM kódu probíhá pouze v určitém zorném rámečku. Velikost rámečku pro čtečku je v modelu vymodelována pomocí skici. Všechny druhy kabelových svazků jsou vkládány konektorem s DM kódem do pohyblivého lůžka. Pohyblivé lůžko se pohybuje v jednom směru o maximální délce pohybu 40 milimetrů. Při montáži byla čtečka umístěna přibližně do středu rámečku, čímž bylo docíleno nejlepšího možného čtení DM kódu. Kvůli naklonění základní desky přestaveb o 10 stupňů není DM kód ideálně kolmý na čtečku.

Po složení stroje došlo k testovací fázi. Při testovací fázi stroje se objevily výrobní nedostatky výlisek DM kódu na konektorech dvou druhů kabelových svazků. U těchto druhů byl zaznamenán občasný problém s detekcí DM kódu. Po upozornění a konzultaci se zákazníkem byla do stroje dokoupena ruční čtečka kódu DM8600. Jedná se o laserovou ruční čtečku, která je určena na čtení 2D kódů. Po přidání ruční čtečky se rapidně snížil počet nepřečtených DM kódů. Nevýhodou je bohužel prodloužení času jednoho pracovního cyklu. Programátor však upravil automatický program, to znamená, že pokud automatická čtečka nepřečte DM kód je operátorovi umožněno použít ruční čtečku na přečtení DM kódu. Ruční čtečka přečte okolo 90 procent DM kódů, které nepřečetla DM262. Problém ve čtení kódů mohl být způsoben také vzdáleností čtečky od kódu. Ruční čtečka čte DM kód ve vzdálenosti několika milimetrů, na rozdíl od automatické čtečky, která čte DM kód ve vzdálenosti přibližně 650 milimetrů. Použití ruční čtečky je nutné přibližně jednou za 50 kusů kabelových svazků, a to pouze při testování dvou určitých druhů kabelových svazků. Z tohoto důvodu nebyl čas zahrnut do výpočtů času pracovního cyklu stroje.

## 5.5 Pneumatické zapojení stroje

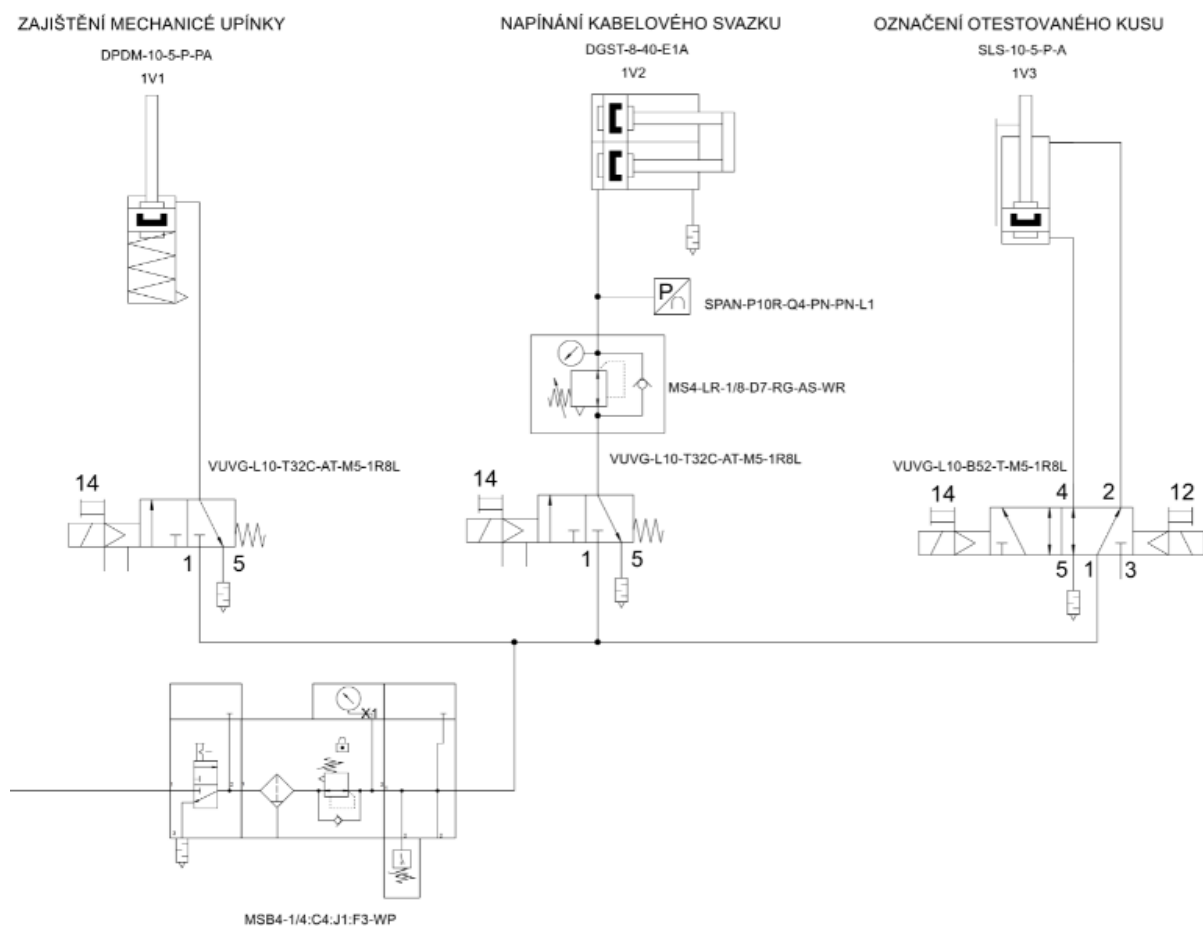
Tato část diplomové práce je zaměřena na pneumatickou část jednoúčelového stroje. Centrální síť stlačeného vzduchu je napojena pomocí potrubí do úpravny stlačeného vzduchu (MSB4-1/4:C4:J1:F3-WP). Z úpravny stlačeného vzduchu je stlačený vzduch veden pomocí potrubí do všech ventilových bloků. Z ventilových bloků vede potrubí do jednotlivých pneumatických válců. Průměr potrubí vedeného do ventilových bloků je větší, jelikož se potrubí větví do všech ventilových bloků. Průměry potrubí vedených do jednotlivých pneumatických válců jsou menší než průměr potrubí pro přívod do ventilových bloků. Při montáži bylo jednou z hlavních snah dosáhnout co nejkratší délky potrubí, aby bylo docíleno co nejnižších ztrát. Jednoúčelový stroj obsahuje tři pneumatické válce. Každý pneumatický válec má jeden ventilový blok. Díky menšímu počtu pneumatických válců tak nebylo nutné použít ventilový terminál.

Pneumatický válec (DPDM-10-5-P-PA) slouží k zamykání mechanické upínky na pohyblivém lůžku. Jedná se o jednočinný válec, který má ve volné pozici vysunutý píst. Válec potřebuje jen jeden vývod pro stlačený vzduch. První polohy je dosaženo pomocí tlaku stlačeného vzduchu, kterým je píst válce zasunut. Druhé polohy je dosaženo pomocí pružiny, když se stlačený vzduch odstaví. Koncové polohy pístu jsou odpružené gumou. Pneumatický válec ovládá ventilový blok typu K (VUVG-L10-T32C-AT-M5-1R8L), což je ventil 3/2 se střední polohou otevřenou. Při výpadku tlaku vzduchu se píst automaticky vysune a tím znemožní uvolnění mechanické upínky. To zabraní vyjmutí kabelového svazku. Na pneumatickém válci jsou namontované koncové magnetické snímače pro detekci koncových poloh pístu válce.

Pneumatický válec (DGST-8-40-E1A) slouží k napínání kabelového svazku. Tento pneumatický válec pohybuje s celým lůžkem. Jedná se o dvojčinný válec. Na válci je přidělaný magnetický analogový snímač (MPS-050C\_TP), který snímá polohu pístu ve válci. Analogový snímač má funkci absolutního odměřování, díky čemuž je při odpojení elektrické sítě a po jejím opětovném připojení ihned známá přesná poloha pístu i lůžka. Při testování kabelového svazku se podle zdvihu pístu, který vykoná pneumatický válec určí správnost kusu. Pneumatický válec má dva vývody pro stlačený vzduch. Do jednoho vývodu je umístěno potrubí, které je propojeno s tlakovým čidlem (SPAN-P10R-Q4-PN-PN-L1), redukčním ventilem tlaku stlačeného vzduchu (MS4-LR-1/8-D7-RG-AS-WR) a s ventilovým blokem typu K (VUVG-L10-T32C-AT-M5-1R8L), což je ventil 3/2 se střední polohou otevřenou. Pomocí redukčního ventilu lze nastavit tlak stlačeného vzduchu, kterým působí pneumatický válec na kabelový svazek. Do druhého vývodu byl přidán vzdušník. Při odstavení vzduchu ventilovým blokem lze pohybovat s lůžkem, a tím nastavovat vhodnou polohu pro vložení kabelového svazku. Koncové polohy pístu jsou odpružené gumou. I při výpadku stlačeného vzduchu lze pohybovat s lůžkem.

Pneumatický válec (SLS-10-5-P-A) slouží pro označení správně otestovaných kabelových svazků. Jedná se o dvojčinný válec. Válec potřebuje dva vývody pro stlačený vzduch. Koncové polohy pístu jsou odpružené gumou. Pneumatický válec ovládá ventilový blok typ G (VUVG-L10-B52-T-M5-1R8L) což je ventil 5/3 se střední polohou uzavřenou. Pneumatický válec má po většinu doby píst zasunutý. Při výpadku tlaku vzduchu píst zůstává zasunutý. Na pneumatickém válci jsou namontované koncové magnetické snímače pro detekci koncových poloh pístu válce.





Obr. 45) Pneumatické schéma jednoúčelového stroje

Celé pneumatické schéma jednoúčelového stroje je přiloženo v příloze této diplomové práce.



## 6 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE JÚS

Nezbytnou součástí návrhu a konstrukce jakéhokoliv stroje je jeho výkresová dokumentace. Podle výkresové dokumentace dílů se vyráběly jednotlivé díly, ze kterých se následně postavil celý stroj. V dnešní době už není na výkresovou dokumentaci kladen takový důraz jako dříve. Většinou se do nástrojáren, které vyrábějí jednotlivé díly stroje posílá přímo 3D model dílu a jeho výkresová dokumentace už pak slouží spíše jako pomocná dokumentace, kde jsou uvedené potřebné rozměry dílu, a především tolerované rozměry dílu. V případě chybějících rozměrů si nástrojárna přímo z 3D modelu dohledá potřebný rozměr. Tímto je ušetřen čas konstruktéra. Ovšem pokud zákazník přím požádá o předání výkresové dokumentace, je nutné vytvořit úplnou výkresovou dokumentaci dle norem.

Výkresy sestav a podsestav slouží výhradně k lepší přehlednosti informací pro zákazníka v případě výměny, opravy či demontáže některé části stroje. Pro montáž stroje nejsou výkresy sestav nutné, ve společnosti Mechatronic Design & Solutions s.r.o. má každý montér počítač, na kterém si může zobrazit celý model stroje a podle modelu stroj i seskládat. Tento způsob je efektivnější a rychlejší a při montáži jednoúčelových strojů šetří čas konstruktérovi i montérovi.

V rámci této diplomové práce je uvedeno pouze pět dílenských výkresů spolu s výkresy hlavní sestavy a jejich podsestav. Detailní dílenské výkresy, výkresy sestavy a podsestav byly vytvořené speciálně pro účely diplomové práce. Při výběru dílenských výkresů byly pro účely diplomové práce vybrány díly:

- 50-351334-02012, Doraz – díl je vyroben z plechu;
- 50-351334-11101, Lůžko 1 – díl je obráběn na CNC frézce;
- 50-351334-12022, Hřídel – díl je obráběn na CNC soustruhu;
- 50-351334-12101, Deska přestavby – díl je obráběn na frézce, obsahuje tabulku děr;
- 50-351334-12703, Horní deska 7 – díl je obráběn na frézce, obsahuje tabulku děr.

Všechny uvedené dílenské výkresy, výkresy hlavní sestavy a podstav jsou uvedené v příloze. V příloze je také přiložený 3D model celého stroje a 3D modely jednotlivých dílů. Některé díly jsou záměrně přejmenované, protože v názvu je pravé označení jednotlivých druhů kabelových svazků. Anonymizace názvů dílů byla řádně konzultována a odsouhlasena vedoucím diplomové práce.



## 7 ANALÝZA RIZIK JEDNOÚČELOVÉHO STROJE

Pro každé strojní zařízení musí být vypracována analýza rizik. Analýza rizik vyhledává veškeré možné druhy nebezpečných stavů, které by mohly nastat na stroji. Analýza rizik detekuje nebezpečné stavy nejen při provozu stroje, ale i nebezpečné stavy v čase, kdy je stroj odstaven a nepracuje se na něm. Určení všech nebezpečných stavů je důležité, hlavně pokud dojde k chybě zaviněné operátorem či jinou osobou, která obsluhovala stroj nebo byla v bezprostřední blízkosti stroje. V takových případech se prochází analýza rizik stroje, kde se zjišťuje, zdali bylo na dané nebezpečí výrobcem stroje upozorněno. Pokud by na dané nebezpečí nebylo výrobcem upozorněno v analýze rizik nebo v manuálu ke stroji, mohl by zákazník obvinít výrobce ze vzniklé škody, a tím by na výrobce mohla být uvalena značná finanční sankce, a zároveň by mohl ztratit důvěru u zákazníka. Z tohoto důvodu se výrobce snaží identifikovat a popsat všechny vysoce i málo pravděpodobné rizikové situace, které mohou při obsluhování stroje nastat. Posuzování jednotlivých rizik je subjektivní, záleží na zkušenostech a teoretických znalostech osoby, která jejich seznam vytváří.

### 7.1 Identifikace relevantních nebezpečí a situací

Pro jednoúčelový stroj byla nejprve vypracována analýza rizik zahrnující relevantní nebezpečí vzhledem ke komponentům stroje.

Tab. 9) Relevantní nebezpečí vzhledem ke komponentům stroje

<b>Komponenta</b>	<b>Poloha komponenty v systému</b>	<b>Typ nebezpečí podle normy ČSN ISO 12100</b>
Konstrukce stroje	Všechny prostory	<b>Mechanické</b> (1.1-1; 1.1-2; 1.1-3; 1.1-11; 1.2-1; 1.2-2; 1.2-3; 1.2-4; 1.3-1; 1.3-2; 1.6-2; 1.9-1)
Pracovní prostor stroje	Prostor obsluhy stroje	<b>Mechanické</b> (1.1-5; 1.1-7; 1.1-8; 1.1-9; 1.1-10; 1.1-11; 1.2-3; 1.2-5; 1.8-3) <b>Nebezpečí záření</b> (6.1-1; 6.1-2) <b>Nebezpečí způsobené špatnou ergonomií</b> (8.4.2; 8.4-3)
Uživatelské rozhraní (ovládací panel, startovací tlačítka atd.)	Prostor obsluhy stroje	<b>Nebezpečí způsobené špatnou ergonomií</b> (8.1-1; 8.2-1; 8.3-1)
Rozvaděč, rozvod elektrické energie	Všechny prostory, kde je vedení el. energie	<b>Elektrické</b> (2.1-1; 2.2-1; 2.2-2; 2.3-1; 2.3-2) <b>Tepelné nebezpečí</b> (3.1-1) <b>Riziko střihu</b> (4.1-1) <b>Při obnově dodávky energie po jejím přerušení</b> (6.1-1) <b>Materiálové nebezpečí</b> (7.2-1) <b>Nebezpečí vnějších vlivů</b> (9.1-1; 9.1-2)
Rozvod stlačeného vzduchu	Všechny prostory, kde je vedení stlačeného vzduchu	<b>Tlakové</b> (5.1-1; 5.1-2)
Vozíky s kusy	Prostor obsluhy stroje	<b>Mechanické</b> (1.1-4; 1.1-6) <b>Riziko střihu</b> (4.1-1)
Úložný prostor	Úložný prostor	<b>Riziko střihu</b> (4.1-1)
Přestavby kabelových svazků	Úložný prostor	<b>Mechanické</b> (1.1-11; 1.1-12; 1.2-3; 1.2-5; 1.8-1; 1.8-2) <b>Nebezpečí záření</b> (6.1-1; 6.1-2) <b>Nebezpečí způsobené nevhodnou ergonomií</b> (8.4-1)
NOK bedna	Prostor pro šuplík NOK bedny	<b>Mechanické</b> (1.1-11; 1.2-3) <b>Riziko střihu</b> (4.1-1)
Krytování stroje	Všechny prostory, kde jsou kryty	<b>Mechanické</b> (1.1-11; 1.2-3)

## 7.2 Analýza významných nebezpečí během jednotlivých fází života stroje

Jednotlivá relevantní nebezpečí následně byla přiřazena k etapám a fázím životního cyklu stroje. Při sestavení etap a fází stroje byla analýza rizik zaměřena především na doby dopravy stroje, instalaci a montáž stroje u zákazníka, provoz stroje, údržby a opravy stroje a vyřazení stroje z výroby.

Tab. 10) Analýza významných nebezpečí během jednotlivých fází života stroje

ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ					Typ stroje:	Jednouúčelový stroj pro testování kabelových svazků
Během jednotlivých fází života stroje						
Poř. číslo	Fáze životního cyklu	Typ nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100		Model:	M2M	
		Stručný popis	id. číslo	Popis nebezpečné události		
1	Doprava					
1.1	Balení a rozbalování stroje	Stlačení, pořezání	1.1-3 1.1-11 1.2-1	Při balení stroje může dojít ke stlačení ruky, případně k pořezání se o nůž.		
1.2	Nakládání, přeprava a vyložení stroje	Stlačení, pořezání, ztráta stability	1.1-1 1.1-2 1.2-1 1.9-1	Při nakládání/vykládání stroje může dojít ke ztrátě stability, a tím může osoba při manipulaci se strojem být stlačena či pořezána.		
1.3	Usazení stroje	Stlačení, ztráta stability	1.3-1 1.3-2 1.9-1	Při usazování stroje může dojít ke ztrátě stability a ke stlačení osoby.		
2	Montáž instalace / Uvedení do provozu					
2.1	Nastavování stroje	Stlačení, naražení, pořezání, zachycení	1.1-7 1.1-8 1.1-10 1.2-2 1.2-3 1.4-1	Při mechanické montáži stroje hrozí stlačení, naražení a pořezání osob.		
2.2	Připojení stroje do elektrické sítě	Požár, popálenina, smrt a úraz elektrickým proudem	2.1-1 2.2-1 2.2-2 2.3-1 2.3-2 3.1-1	Při zapojování stroje do elektrické sítě může dojít k požáru, popálenině, úrazu či smrti elektrickým proudem.		
2.3	Připojení stroje k dodávce tlaku stlačeného vzduchu	Poranění zraku, pořezání	1.5-1 1.5-2	Při špatném zapojení může dojít k nekontrolovanému pohybu potrubí pro rozvod stlačeného vzduchu.		

3 Provoz				
3.1	Vložení testovaného kabelového svazku	Únava svalů, poškození kloubů, nepohodlí, stlačení, pořezání	1.1-4 1.1-5 1.1-6 1.2-3 1.8-3 8.2-1 8.3-1 8.4-2 8.4-3	Vlivem špatné ergonomie může dojít k únavě svalů, poškození kloubů a nepohodlí. Dále při špatné ergonomii hrozí stlačení či poranění operátora stroje.
3.2	Ovládací panel stroje	Únava svalů, poškození kloubů, nepohodlí	1.2-3 8.1-1 8.2-1 8.3-1	Vlivem špatné ergonomie může dojít k únavě svalů, poškození kloubů a nepohodlí. Dále při špatné ergonomii hrozí stlačení či poranění operátora stroje.
3.3	Při běhu automatického programu	Stlačení, naražení	1.1-8 1.1-9 1.2-5	Při běhu programu dochází k napnutí kabelu, pokud operátor nemá ruce mimo pracovní prostor může dojít k naražení nebo stlačení končetiny.
3.4	Vyjmutí testovaného kabelového svazku	Únava svalů, poškození kloubů, nepohodlí, stlačení, pořezání	1.1-4 1.1-5 1.1-6 1.2-3 1.8-3 8.2-1 8.3-1 8.4-2 8.4-3	Vlivem špatné ergonomie může dojít k únavě svalů, poškození kloubů a nepohodlí. Dále při špatné ergonomii hrozí stlačení či poranění operátora stroje.
3.5	NOK bedna	Střih, stlačení	1.4-1	Při nedbalém zavření NOK bedny hrozí poranění operátora.
3.6	Výměna přestaveb	Stlačení, naražení, pořezání, svalové nebo kosterní poškození	1.1-12 1.2-2 1.4-1 1.8-1 1.8-2 8.4-1	Při výměně může dojít ke stlačení, naražení, pořezání nebo svalovému poškození.



3.7	Pohyb v blízkosti stroje	Zakopnutí, pořezání	1.1-11 1.2-3 1.3-1 1.3-2	Při pohybu v těsné blízkosti stroje hrozí zakopnutí či pořezání.
<b>4 Údržba, čištění a oprava závad stroje</b>				
4.1	Běžná údržba a čištění stroje	Pořezání, stlačení	1.1-11 1.2-3 1.4-1 1.3-2	Při údržbě stroje hrozí pořezání či stlačení.
4.2	Oprava a kontrola funkčních částí stroje	Stlačení, pořezání, smrt nebo úraz elektrickým proudem	1.1-7 1.1-8 1.1-9 1.1-10 1.1-11 1.2-3 1.5-1 1.5-2 1.6-1 2.1-1 2.2-1 2.2-2 2.3-1 2.3-2 6.1-1 6.1-2 9.1-1 9.1-2	Při opravě zařízení, která jsou ve stroji může dojít ke zranění, úrazu či dokonce smrti v důsledku rány elektrickým proudem.
<b>5 Vyřazení, demontáž a likvidace stroje</b>				
5.1	Odpojení elektrické energie	Požár, popálenina, smrt a úraz elektrickým proudem	2.1-1 2.2-1 2.2-2 2.3-1 2.3-2 3.1-1	Při odpojování stroje od elektrické energie může dojít k požáru, popálenině, úrazu či smrti v důsledku rány elektrickým proudem.
5.2	Odpojení stroje od dodávky tlaku stlačeného vzduchu	Poranění zraku, pořezání	1.5-1 1.5-2 9.1-1 9.1-2	Při špatném odpojení tlaku stlačeného vzduchu může dojít k nekontrolovanému pohybu rozvodného potrubí.
5.3	Nakládání, přeprava a vyložení stroje	Stlačení, pořezání, ztráta stability	1.1-1 1.1-2 1.2-1 1.9-1	Při nakládání/vykládání stroje může dojít ke ztrátě stability, a tím může být osoba při manipulaci se strojem stlačena či pořezána.

5.4	Likvidace elektrických zařízení	Požár, materiálové nebezpečí	7.1-1	Při likvidaci elektrických zařízení stroje hrozí nebezpečí vzniku požáru.
-----	---------------------------------	------------------------------	-------	---

### 7.3 Přehled jednotlivých závažných identifikovaných rizik

Pro lepší přehlednost identifikovaných nebezpečí, která byla detekována na stroji byl vytvořen seznam. V diplomové práci bylo detekováno a analyzováno 44 nebezpečných situací. Při odhadu rizika bylo nejprve provedeno určení závažnosti škody a pravděpodobnosti jejího výskytu podle následujících kritérií.

- 1) Míra poškození  
S0 – žádné nebezpečí  
S1 – lehké zranění (přechodné následky)  
S2 – těžké zranění (trvalé následky)  
S3 – smrt
- 2) Doba pobytu v oblasti nebezpečí  
A1 – zřídka až častěji  
A2 – často až trvale
- 3) Možnost rozpoznání a vyvarování se nebezpečí  
E1 – možné  
E2 – možné za určitých okolností  
E3 – nemožné
- 4) Pravděpodobnost vzniku této události  
W1 – malá (nepravděpodobná)  
W2 – střední  
W3 – velká (pravděpodobná)

Určení velikosti jednotlivých rizik bylo vypočítáno na základě rovnice:

$$6 \cdot S + 3 \cdot A + E + W - 1 = \text{velikost rizika}$$

(6)

Přičemž hodnocení jednotlivých kritérií:

$$\begin{array}{llll} S1 = 0 & A1 = 0 & E1 = 0 & W1 = 0 \\ S2 = 1 & A2 = 1 & E2 = 1 & W2 = 1 \\ S3 = 2 & & E3 = 2 & W3 = 2 \end{array}$$

Pro posuzování závažnosti jednotlivých rizik je hlavní určit hranice jejich závažnosti. Pro analýzu rizika byly určeny následující hranice velikosti rizik:

0–4 akceptovatelné riziko

5–6 riziko akceptovatelné po prověření

5–18 neakceptovatelné riziko

Tab. 11) Tabulka identifikovaných závažných nebezpečí

Přehled identifikovaných závažných nebezpečí		Z	V	M	P	Suma
<b>1</b>	<b>Mechanická nebezpečí</b>					
<b>1.1</b>	<b>Nebezpečí stlačením/naražením</b>					
1.1-1	Nebezpečí stlačení při nakládání a vykládání stroje	S3	A1	E3	W2	14
1.1-2	Nebezpečí stlačení při pohybu stroje na paletě	S2	A1	E2	W1	6
1.1-3	Nebezpečí stlačení při rozbalování stroje	S1	A1	E2	W2	1
1.1-4	Nebezpečí stlačení při vyjmutí kabelového svazku z bedny	S1	A1	E2	W2	1
1.1-5	Nebezpečí stlačení při vložení kabelového svazku do lůžka	S1	A1	E3	W3	3
1.1-6	Nebezpečí stlačení při vložení kab. svazku do kartonové krabice	S1	A1	E2	W2	1
1.1-7	Nebezpečí stlačení při upnutí svazku do mechanických upínek	S2	A2	E2	W2	10
1.1-8	Nebezpečí stlačení při zamčení mechanické upínky	S2	A1	E2	W2	7
1.1-9	Nebezpečí naražení při napnutí kabelu	S2	A2	E2	W2	10
1.1-10	Nebezpečí stlačení při uvolnění mechanických upínek	S2	A2	E2	W2	10
1.1-11	Nebezpečí stlačení při dotýkání se různých částí zařízení	S1	A1	E3	W3	3
1.1-12	Nebezpečí naražení při výměně přestaveb	S2	A1	E3	W3	9
<b>1.2</b>	<b>Nebezpečí pořezáním nebo bodnutím</b>					
1.2-1	Nebezpečí pořezání při transportu, balení a vybalování stroje	S1	A1	E2	W2	1
1.2-2	Nebezpečí pořezání při seřizování stroje a přestaveb	S1	A1	E3	W2	2
1.2-3	Nebezpečí pořezání při práci, údržbě, čištění a servisu stroje	S1	A1	E3	W2	2
1.2-4	Nebezpečí pořezání při demontáži stroje	S1	A1	E2	W2	1
1.2-5	Nebezpečí bodnutí při značení OK kusu značící jehlou	S2	A2	E3	W3	12
<b>1.3</b>	<b>Nebezpečí zakopnutí</b>					
1.3-1	Nebezpečí zakopnutí o rám stroje	S1	A1	E3	W1	1
1.3-2	Nebezpečí zakopnutí o nohy stroje	S1	A1	E3	W1	1
<b>1.4</b>	<b>Riziko stříhu</b>					
1.4-1	Nebezpečí při zavírání dveří u rozvaděče, úložného prostoru a šuplíku NOK bedny	S2	A1	E3	W2	8
<b>1.5</b>	<b>Nebezpečí tlaku</b>					
1.5-1	Nebezpečí zásahu vysokotlakým médiem	S2	A1	E2	W1	6
1.5-2	Nebezpečí vymrštění	S2	A1	E2	W1	6
<b>1.6</b>	<b>Nebezpečí při obnově dodávky energie po jejím přerušení</b>					
1.6-1	Nebezpečí způsobené neočekávaným spuštěním a rozběhu stroje	S3	A1	E3	W1	14
<b>1.8</b>	<b>Nebezpečí upadnutí nebo vymrštění předmětu</b>					
1.8-1	Nebezpečí upadnutí přestavby během výměny druhu kab. svazku	S2	A2	E3	W3	12
1.8-2	Nebezpečí upadnutí výměnného lůžka u přestaveb	S2	A2	E3	W3	12
1.8-3	Nebezpečí upadnutí kabelového svazku při vkládání do lůžka	S1	A2	E3	W3	6
<b>1.9</b>	<b>Nebezpečí ztráty stability</b>					
1.9-1	Nebezpečí ztráty stability stroje nebo jeho částí	S3	A1	E3	W1	13
<b>2</b>	<b>Nebezpečí úrazu el. proudem</b>					
<b>2.1</b>	<b>Nebezpečí požáru</b>					
2.1-1	Nebezpečí vzniku požáru při zapojování/odpojování stroje do el. sítě, odkrytý spoj může způsobit jiskru	S3	A1	E2	W1	12
<b>2.2</b>	<b>Nebezpečí usmrcení elektrickým proudem</b>					

2.2-1	Při zapojování nebo odpojování stroje může dojít ke kontaktu člověka s částmi, které jsou pod elektrickým proudem	S3	A1	E3	W2	14
2.2-2	Při provozu nebo při seřizování může dojít ke kontaktu operátora se součástmi pod elektrickým proudem, což může vést k úmrtí	S3	A2	E3	W2	17
<b>2.3</b>	<b>Nebezpečí úrazu elektrickým proudem</b>					
2.3-1	Při zapojování nebo odpojování stroje může dojít ke kontaktu člověka s částmi stroje pod elektrickým proudem	S2	A1	E3	W2	8
2.3-2	Při provozu nebo při seřizování může dojít ke kontaktu operátora se součástmi pod elektrickým proudem, což může vést k úrazu	S2	A2	E3	W2	11
<b>3</b>	<b>Tepelná nebezpečí</b>					
<b>3.1</b>	<b>Popálení</b>					
3.1-1	Nebezpečí popálenin při montáži elektroinstalace	S1	A2	E3	W1	4
<b>6</b>	<b>Nebezpečí záření</b>					
<b>6.1</b>	<b>Nebezpečí optického záření</b>					
6.1-1	Nebezpečí poškození zraku a kůže	S2	A1	E3	W1	7
6.1-2	Nebezpečí bolesti hlavy a nespavosti	S2	A1	E3	W1	7
<b>7</b>	<b>Materiálové nebezpečí</b>					
<b>7.1</b>	<b>Nebezpečí ohně nebo výbuchu</b>					
7.1-1	Nebezpečí požáru nebo výbuchu při provozu a likvidaci stroje	S3	A1	E3	W1	13
<b>8</b>	<b>Nebezpečí způsobená špatnou ergonomií (ČSN EN ISO 6385)</b>					
<b>8.1</b>	<b>Nebezpečí způsobená nepohodlím</b>					
8.1-1	Nebezpečí způsobené špatným rozmístěním ovládacích prvků	S2	A2	E3	W2	11
<b>8.2</b>	<b>Nebezpečí způsobené únavou</b>					
8.2-1	Nebezpečí monotónní práce, při které může dojít k únavě a tím i k neočekávanému jednání operátora stroje	S2	A2	E3	W2	11
<b>8.3</b>	<b>Nebezpečí způsobené stresem</b>					
8.3-1	Neboť operátor musí pracovat ve stoje, může při práci nastat stres nebo může dojít k neočekávanému jednání operátora stroje	S2	A2	E3	W2	11
<b>8.4</b>	<b>Nebezpečí způsobující svalové kosterní poškození</b>					
8.4-1	Nebezpečí při výměně přestaveb	S2	A2	E3	W2	11
8.4-2	Ortopedické poruchy při manipulaci s kabelovým svazkem	S2	A2	E3	W2	11
8.4-3	Ortopedické poruchy při manipulaci s mechanickými upínkami	S2	A2	E3	W2	11
<b>9</b>	<b>Nebezpečí vznikající v prostorách používání stroje</b>					
<b>9.1</b>	<b>Nebezpečí způsobené vnějšími vlivy</b>					
9.1-1	Nebezpečí zásahu jiné osoby při seřizování stroje	S3	A2	E3	W2	17
9.1-2	Nebezpečí způsobená lidskou chybou při seřizování a provozu stroje	S3	A2	E3	W3	18

## 7.4 Snížení neakceptovatelných rizik

Pro snížení neakceptovatelných rizik je zapotřebí vytvořit návrh opatření, a tím dosáhnout akceptovatelných rizik. Pokud snížení některého rizika není dostatečné, je zapotřebí aplikovat další opatření, která sníží velikost rizika na přijatelnou. Žádné riziko nelze snížit natolik, aby bylo zcela eliminováno. Na základě posouzení rizika musí konstruktér v případě neakceptovatelného rizika přijmout opatření k jeho snížení v posloupnosti:

- 1) navrhnout opatření zabudovaná v konstrukci stroje;
- 2) navrhnout bezpečnostní ochranu;
- 3) uvést informace pro používání.

Do následující analýzy byly za účelem snížení rizika zpracovány tři náhodně vybrané nebezpečné situace z analýzy všech rizik (viz výše).

Tab. 12) Formulář pro snížení velikosti rizika při napnutí kabelu

<b>FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA</b>		<b>Stroj:</b>	JÚS
<b>Autor:</b>	Bc. Tomáš Bouchal	<b>Datum:</b>	1. 5. 2021
<b>Číslo nebezpečí</b>	<b>Identifikační číslo</b>	<b>Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100</b>	
1.1	9	1. Mechanické nebezpečí	
<b>Životní etapa stroje:</b>	Provoz stroje	<b>Nebezpečný prostor:</b>	Prostor obsluhy
<b>Ohrožené osoby:</b>	Operátor, seřizovač	<b>Provozní stav stroje:</b>	Provoz stroje
<b>Popis nebezpečné situace:</b>	Při zásahu do pracovního prostoru hrozí stlačení, naražení či poranění obsluhy stroje při napnutí kabelu pomocí pneumatického válce.		
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	<b>Velikost rizika</b>  <b>11</b>
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých podmínek	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – střední	
<b>KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci (dle ČSN EN ISO 12100)</b>			
<b>Popis opatření:</b>	Všechny mezery dostatečně malé, aby nebylo možné do nich vložit prsty. Malý rozsah pohybu pneumatického válce (40 mm).		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	<b>Velikost rizika</b>  <b>4</b>
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých podmínek	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – střední	
<b>KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření</b>			
<b>Popis opatření:</b>	Nastavitelná síla zdvihu pneumatického válce pomocí redukčního ventilu.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	<b>Velikost rizika</b>  <b>3</b>
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – střední	
<b>KROK 3: Informace pro používání (dle ČSN EN ISO 12100)</b>			
<b>Popis opatření:</b>	Zaškolení operátora. Nutné dodržovat bezpečnostní pokyny výrobce uvedené v manuálu stroje.		
Zbytkové riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	<b>Velikost rizika</b>  <b>2</b>
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malé	

Tab. 13) Formulář pro snížení velikosti rizika při značení otestovaného kusu

<b>FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA</b>		<b>Stroj:</b>	JÚS
<b>Autor:</b>	Bc. Tomáš Bouchal	<b>Datum:</b>	1. 5. 2021
<b>Číslo nebezpečí</b>	<b>Identifikační číslo</b>	<b>Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100</b>	
1.2	5	1. Mechanické nebezpečí	
<b>Životní etapa stroje:</b>	Provoz stroje	<b>Nebezpečný prostor:</b>	Prostor obsluhy
<b>Ohrožené osoby:</b>	Operátor, seřizovač	<b>Provozní stav stroje:</b>	Provoz stroje
<b>Popis nebezpečné situace:</b>	Při zásahu do pracovního prostoru hrozí stlačení, naražení či poranění obsluhy stroje při značení testovaného kusu pomocí pneumatického válce.		
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	<b>Velikost rizika</b>  <b>12</b>
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 – nemožné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W3 – vysoké	
<b>KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci (dle ČSN EN ISO 12100)</b>			
<b>Popis opatření:</b>	Schování značící jehly pod desku lůžka.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	<b>Velikost rizika</b>  <b>4</b>
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých podmínek	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – střední	
<b>KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření</b>			
<b>Popis opatření:</b>	Pneumatický válec je v normální poloze vždy zasunutý. Možné poranění jen při servisu.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	<b>Velikost rizika</b>  <b>1</b>
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých podmínek	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – střední	
<b>KROK 3: Informace pro používání (dle ČSN EN ISO 12100)</b>			
<b>Popis opatření:</b>	Při servisu je nutné dodržovat pokyny výrobce uvedené v manuálu stroje.		
Zbytkové riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	<b>Velikost rizika</b>  <b>1</b>
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – střední	

Tab. 14) Formulář pro snížení velikosti rizika při výměně lůžka

<b>FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA</b>		<b>Stroj:</b>	JÚS
<b>Autor:</b>	Bc. Tomáš Bouchal	<b>Datum:</b>	1. 5. 2021
<b>Číslo nebezpečí</b>	<b>Identifikační číslo</b>	<b>Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100</b>	
1.8	3	1. Mechanické nebezpečí	
<b>Životní etapa stroje:</b>	Provoz stroje	<b>Nebezpečný prostor:</b>	Prostor obsluhy
<b>Ohrožené osoby:</b>	Seřizovač	<b>Provozní stav stroje:</b>	Výměna přest.
<b>Popis nebezpečné situace:</b>	Při výměně lůžka může dojít k nedodržení pracovního postupu, které může vést k poranění seřizovače.		
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	<b>Velikost rizika</b>  <b>12</b>
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 – nemožné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W3 – vysoké	
<b>KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci (dle ČSN EN ISO 12100)</b>			
<b>Popis opatření:</b>	Přípevnění výměnného lůžka pomocí šroubů na přestavbu.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – lehké zranění	<b>Velikost rizika</b>  <b>10</b>
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých podmínek	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – střední	
<b>KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření</b>			
<b>Popis opatření:</b>	Nutné použití ochranných prostředků osob – ochranná obuv, ochranný oděv.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	<b>Velikost rizika</b>  <b>4</b>
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých podmínek	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – střední	
<b>KROK 3: Informace pro používání (dle ČSN EN ISO 12100)</b>			
<b>Popis opatření:</b>	Při výměně je nutné dodržovat pracovní postup a pokyny výrobce uvedené v manuálu stroje.		
Zbytkové riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	<b>Velikost rizika</b>  <b>1</b>
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých podmínek	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – střední	

**Dílčí závěr:**

Při analýze rizik bylo detekováno a analyzováno 44 nebezpečných situací. Při odhadu rizik bylo nejprve provedeno určení závažnosti škody a pravděpodobnosti jejího výskytu. Posléze byly náhodně vybrány tři nebezpečné situace, které byly neakceptovatelné a musela být provedena opatření, která vedla ke snížení velikosti rizika na akceptovatelné riziko.

Určení všech nebezpečných situací je důležité. Po nehodě zaviněné operátorem či jinou osobou, která obsluhovala stroj nebo byla v bezprostřední blízkosti stroje se prochází analýza rizik stroje. Zjišťuje se, zdali bylo na dané nebezpečí výrobcem stroje upozorněno. Pokud by na dané nebezpečí výrobcem nebylo upozorněno v analýze rizik, nebo v manuálu ke stroji, mohl by zákazník obvinít výrobce ze vzniklé škody. Proto se výrobce snaží popsat a identifikovat všechny vysoce i málo pravděpodobné rizikové situace, které mohou při obsluhování stroje nastat. Posuzování jednotlivých rizik je subjektivní, záleží na zkušenostech a teoretických znalostech osoby, která je vytváří.



## 8 ZHODNOCENÍ DP A DOPORUČENÍ PRO PRAXI

### 8.1 Zhodnocení

Po zhotovení a naskladnění jednotlivých vyráběných a nakupovaných dílů byl sestaven jednoúčelový stroj na základě výkresové, elektrické a pneumatické dokumentace. Během zprovoznování a samotné montáži stroje se objevily drobné konstrukční nedostatky, které byly při montáži odstraněny. Jelikož tato diplomová práce vznikla ve spolupráci s průmyslovou firmou, bylo nutné zohlednit požadavky zákazníka. Podle požadavku zákazníka měl být stroj zhotovený v ESD zóně. ESD zóna vyžaduje elektrickou vodivost všech prvků na stroji. Na požadavek byl kladen velký důraz, z toho důvodu musel být u některých prvků vybrán kvalitnější materiál, a tím se zvýšily celkové náklady. Některé nakupované díly nelze zakoupit v provedení ESD zóny, proto byl zakoupen bezbarvý antistatický lak, kterým lze nastříkat nevodivé prvky. V testovací fázi bylo ověřeno, že stroj splňuje všechny požadavky ESD zóny.

Při testovací fázi jednoúčelového stroje bylo zjištěno nedostatečné rozpoznání DM kódu u dvou druhů testovaných kabelových svazků. Tento problém se objevil u těchto druhů přibližně jednou za padesát kusů. Problém nastal vždy u svazkového kabelu, kde nebyl kód zcela zřetelně vylišován. Dalším důvodem nerozpoznání DM kódu mohla být také větší vzdálenost svazku od čtečky. Po domluvě se zákazníkem byla přidána do stroje ruční čtečka DM kódu. Kvůli tomu musel být upraven i program pro oba druhy kabelových svazků, u kterých problém nastal. Tím pádem je při špatné kontrole DM kódu operátorovi umožněno použít ruční čtečku, čímž ověří DM kód. Pomocí tohoto opatření bylo docíleno obrovského snížení NOK kusů. Pro účely testovací fáze bylo záměrně vyrobeno i několik NOK kusů u všech druhů kabelových svazků, aby mohlo být ověřeno, zda jednoúčelový stroj správně rozpoznává chybné kusy. Během testování stroj všechny NOK kusy bez sebemenšího problému rozpoznal. Při testování bylo zákazníkem poskytnuto 200 kusů od všech druhů kabelových svazků.

Před testovací fází jednoúčelového stroje, byl proveden výpočet pracovního cyklu stroje. Při výpočtu pracovního cyklu jednoho testování kabelového svazku nám vyšel čas 21,9 sekund. S tímto časem se počítalo při určení celkového množství otestovaných kusů za rok. Jednoúčelový stroj je podle výpočtu schopný otestovat 489 642 kusů za rok. Výpočet byl provedený pro dvousměnný provoz, jak bylo domluveno se zákazníkem. Výkonost jednoúčelového stroje je tedy optimální a splňuje požadavek zákazníka na otestování 450 000 kusů za rok.

Na konci testovací fáze jednoúčelového stroje bylo zákazníkem vyhodnoceno, že stroj splňuje všechny požadavky vzniklé od počátku až po konec projektu. Na základě splnění požadavků a spokojenosti zákazníka byl stroj zákazníkem převzat.

Jednoučelový stroj se skládá z celkem 181 vyrobených a 55 nakupovaných dílů, nejsou však připočtené nakupované díly z elektra, které objednává elektrokonstruktér. Hlavní nosnou částí stroje je hliníková profilová konstrukce tvořená z hliníkových profilů od společnosti Bosch Rexroth. Stroj obsahuje jednu kameru, tři světla, ovládací panel a automatickou a ruční čtečku DM kódů. Na stroji jsou umístěné tři pneumatické válce a také tři ventilové bloky. Počet všech druhů snímačů na stroji a na přestavbách je 46 kusů, přičemž většina z nich je na jednotlivých přestavbách.

Montáž stroje trvala okolo 130 hodin, naprogramování stroje trvalo okolo 150 hodin, z důvodu velkého množství přestaveb. Čas, který byl stráven návrhem stroje spolu s dokumentací, podporou při montáži stroje a při jeho testování byl vypočten na 350 hodin. S ohledem na krátkodobou praxi autora diplomové práce ve vývoji jednoučelových strojů je doba konstrukce přijatelná, více zkušený konstruktér by dokázal stroj navrhnout rychleji.

## 8.2 Ekonomické zhodnocení jednoučelového stroje

Jednoučelový stroj slouží k otestování sedmi druhů kabelových svazků, které jsou součástí elektrického automobilu. Při návrhu jednoučelového stroje je největší nevýhodou časové omezení dané již na začátku zákazníkem. Konstruktér byl od začátku vývoje omezen dobou dodání stroje zákazníkovi. Při nedodržení termínu odevzdání stroje by zákazník nemohl kontrolovat nebo vyrábět dané díly a narůstaly by finanční ztráty, které by se promítly do pokuty výrobcí stroje. Dodržení termínu a dodání funkčního stroje bylo tedy hlavní prioritou, už kvůli dobré pověsti výrobce. Jelikož se jedná o jednoučelový stroj, jsou vyšší náklady pochopitelnější než u sériově vyráběného stroje. V celkové kalkulaci nákladů nejsou zahrnuty spojovací materiály, pneumatické vedení, hadice a kabely s konektory. Náklady na jednotlivé položky jsou uvedené včetně DPH. Částky jsou zaokrouhleny.

Tab. 15) Kalkulace nákladů na jednoučelový stroj

Název	Cena v EUR (cca 25 Kč/EU)	Cena v Kč
Obráběné díly + plechy	16 000,-	400 000,-
Profilová konstrukce + krytování	4 200,-	105 000,-
Pneumatika	700,-	17 500,-
Kamerový systém + čtečky	8 000,-	200 000,-
Senzorika + sdružovací pole + sběrnice	7 200,-	180 000,-
Prvky v rozvaděči	2 400,-	60 000,-
Nákup mechaniky	2 240,-	56 000,-
<b>Celkem</b>	<b>40 740,- EUR</b>	<b>1 018 500,- Kč</b>

Tab. 16) Cenová kalkulace při životnosti stroje 20 let

Název	Cena v Kč za rok	Cena v Kč při životnosti stroje 20 let
Kalkulace nákladů na stroj	-	1 018 500,-
Vývoj, konstrukce a montáž	-	176 000,-
Náklady na energie a média (pouze orientační)	1 137 600,-	22 752 000,-
Údržba stroje (0,02 x cena stroje)	20 370,-	407 400,-
Obsluha stroje (pouze orientační)	450 000,-	9 000 000,-
<b>Celkem</b>	<b>1 607 970,- Kč</b>	<b>33 353 900,- Kč</b>

**Výpočet ceny jednoho otestovaného kusu:**

$$N_{OB} = \frac{N_{STROJE}}{K_{Srok} \cdot živ} = \frac{33\,353\,900}{489\,642 \cdot 20} = 3,4 \text{ Kč}$$

(7)

Při životnosti stroje 20 let a testování přibližně 490 000 kusů za rok by vyšla cena jednoho otestovaného kusu kabelového svazku na 3,4 Kč/kus. Ve výpočtu jsou orientačně zahrnuté energie potřebné pro chod stroje (stlačený vzduch, elektrická síť), obsluha stroje a náklady na údržbu stroje.

### 8.3 Doporučení pro praxi

Diplomová práce obsahuje návrh a konstrukci poloautomatického jednoúčelového stroje sloužící pro kontrolování a měření kabelových svazků, které se dále montují do elektromobilů. Při testovací fázi jednoúčelového stroje byl stroj hodnocen dle požadavků zákazníka. Stroj splňoval všechny jeho požadavky a zákazník tak byl se strojem spokojen. Následně byl zákazníkem převzat a instalován do jeho provozovny.

Jelikož se jedná o jednoúčelový stroj, je zřejmé, že jej lze použít pouze k účelu, ke kterému byl navržen. Je obvyklou praxí, že nově navržený, zkonstruovaný a vyrobený JÚS musí být navržen tak, aby přinesl zákazníkovi potřebou ekonomickou efektivitu rychlým vrácením vložených investičních prostředků. V tomto případě není návratnost vyjádřena z pohledu financí, nýbrž může být vyjádřena úspěšností stroje. Jelikož jednoúčelový stroj odhalí jakoukoliv kontrolovanou vadu, je úspěšnost kontroly a měření 100%. Na to, aby stroj byl z hlediska provozu úspěšný a spolehlivý byl při vývoji i montáži kladen obrovský důraz. Při poslání jednoho neshodného kusu do další výroby totiž hrozí zákazníkovi obrovská pokuta a může být od výrobce požadována náhrada ceny za způsobené škody.

Při převzetí stroje byl se zákazníkem domluven nový projekt, který má rozšířit sadu kontrolovaných a měřených kabelových svazků o sedm nových druhů. V současné době je autorem diplomové práce vytvářeno těchto sedm nových přestaveb, které jsou určeny na nové druhy kabelových svazků. Tato nadstavba však již není součástí této diplomové práce.



## 9 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a zkonstruovat poloautomatický jednoúčelový kontrolní a měřicí stroj. Úkolem tohoto jednoúčelového stroje je testování sedmi druhů kabelových svazků, které se používají do elektromobilů. Na jednoúčelovém stroji lze kontrolovat a měřit druh kabelového svazku, správnost DM kódu, přítomnost a hloubku šroubu, délku kabelového svazku, přítomnost klipů, tuby a smršťovacích bužírek a správnou montáž klipů. Jednoúčelový stroj označuje shodné kusy kabelových svazků značící jehlou. Při detekci neshodného kusu stroj operátorovi neumožní spustit program, dokud není neshodný kus vložen do bedny pro neshodné kusy (NOK bedny). Při montáži stroje se ukázaly malé konstrukční problémy, které bývají u jednoúčelových strojů běžné, protože se jedná o originální prototypy. V testovací fázi stroj úspěšně prošel a byl převzat zákazníkem bez jakéhokoliv problému s funkčností stroje.

V první kapitole je popsán současný rostoucí trend prodeje elektromobilů a také aktuální způsob kontroly a měření kabeláže v automobilovém průmyslu. Současné jsou zde uvedené požadavky zákazníka na funkce stroje.

Druhá kapitola obsahuje systémový rozbor a přístup k návrhu jednoúčelového stroje. Dále kapitola obsahuje detailní popis jednotlivých druhů kabelových svazků, které jednoúčelový stroj bude testovat. Následuje řešeršní popis možných způsobů snímání vzdáleností a přítomností předmětů, ať už se jedná o kontaktní nebo bezkontaktní snímání. Všechny uvedené metody jsou vztaženy k řešenímu problému v diplomové práci. Koncem druhé kapitoly je řešena komunikace jednotlivých snímačů s řídicími prvky pomocí IO-linku. V úplném závěru kapitoly je pak uvedené snímání DM kódů a popsán kamerový systém stroje.

Ve třetí kapitole je uveden koncepční návrh stroje, kde jsou uvedené i jednotlivé možné konstrukční varianty určitých částí jednoúčelového stroje. Pro řešení koncepčních variant přestaveb jsou uvedené dvě varianty návrhu. Pro řešení konstrukčního uzlu jsou navrženy dvě varianty. Všechny varianty obsahují kalkulace finančních nákladů a výhody a nevýhody jejich použití.

Čtvrtá kapitola řeší výběr variant přestaveb a konstrukčního uzlu pomocí multikriteriální metody hodnocení. Pro řešení koncepčního návrhu přestaveb vychází nejlépe druhá varianta. U volby konstrukčního uzlu nám pomocí multikriteriální metody vyšla lépe první varianta. Při konzultaci se zákazníkem byly shodně vybrány tyto dvě nejlépe vyhodnocené varianty.

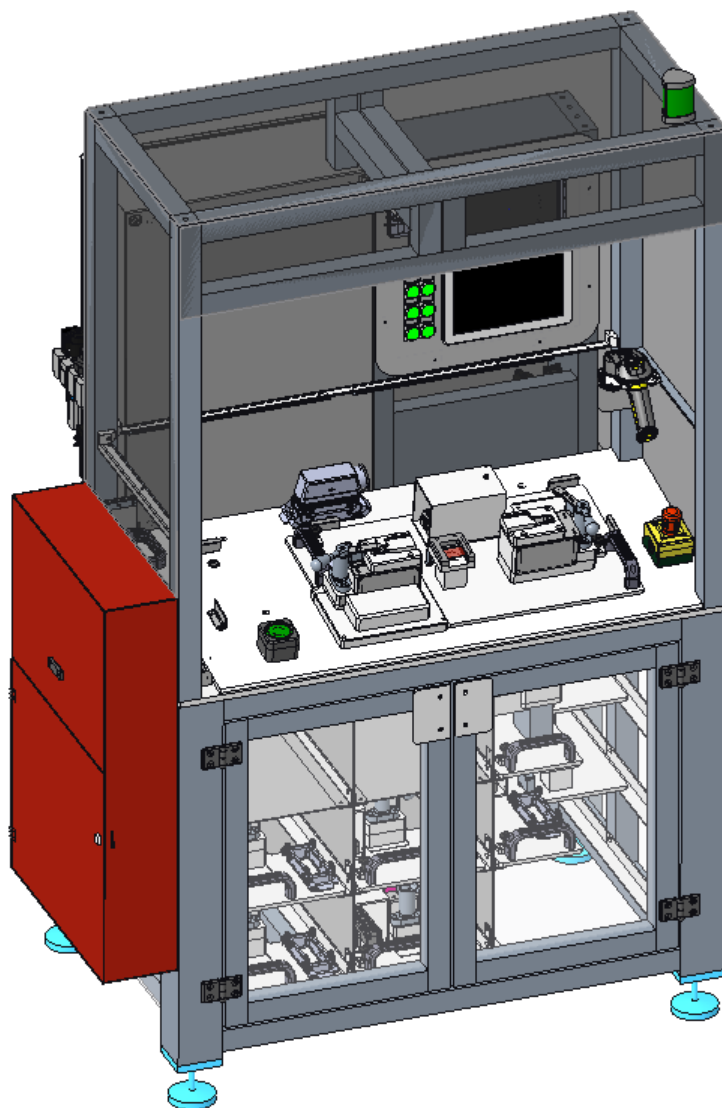
Pátá kapitola je přímo zaměřena na konstrukci a provoz jednoúčelového stroje. První část pojednává o pracovním postupu operátora při běžném provozu stroje. Je také uvedeno chování automatického procesu při běžném provozu. Pracovní postup je následně zobrazen v diagramu. Následuje popis postupu seřizovače při výměně druhu kabelového svazku. Poté je zde uveden výpočet času jednoho pracovního cyklu, kdy je nejprve spočítán teoretický čas jednoho pracovního cyklu, kde čas je rozdělen na tři části a schválen na interní schůzi s programátorem. Následně je spočítán reálný čas jednoho pracovního cyklu stroje. Jednotlivé časy jsou zobrazeny v diagramu pomocí Ganttovy metody. Pomocí Ganttovy metody je také

uveden čas potřebný na výměnu jednoho druhu kabelového svazku za jiný. Podkapitola o výpočtu pracovního cyklu končí kontrolou počtu otestovaných kusů kabelových svazků za rok. Kapitola dále detailně popisuje jednotlivé konstrukční části stroje. Po popisu jednotlivých konstrukčních částí strojů je popis rozvaděče, ovládacího panelu, kamerového systému a použitých čteček DM kódů. Na konci kapitoly je detailně popsána celá pneumatika použitá na stroji. Do diplomové práce je v přílohách vloženo pneumatické schéma celého stroje.

Šestá kapitola obsahuje komentáře k výkresové dokumentaci a popis vybraných dílů a celé hlavní sestavy. Dílenské výkresy a výkresy hlavní sestavy jsou vloženy v tištěné příloze diplomové práce.

Sedmá kapitola obsahuje analýzu rizik jednoúčelového stroje. Kapitola obsahuje identifikaci relevantních nebezpečí, analýzu významných nebezpečí během jednotlivých fází života stroje, přehledovou tabulku závažných identifikovaných rizik, a nakonec ukázkou čtyř vybraných snížení neakceptovatelných rizik.

V osmé kapitole je zhodnocení dosažených výsledků a doporučení do praxe.



Obr. 46) Model jednoúčelové stroje

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Prodej elektromobilů. *Www.auto.cz* [online]. 2020 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/evropske-prodeje-elektromobilu-rostou-uz-tvori-4-trhu-134424>
- [2] Diagram prodeje elektromobilů. *Www.statistika.com* [online]. statistika, 2020, 25.6 2020 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/evropske-prodeje-elektromobilu-rostou-uz-tvori-4-trhu-134424>
- [3] Testování kabeláže. *Www.fpc.cz* [online]. Plzeň: fpc, 11 2020n. 1. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://www.fpc.cz/wire-harness-testing>
- [4] HABERLE, Heinz. *Průmyslová elektronika a informační technologie*. 1. Německo: Europa sobotáles, 10. 2003n. 1. ISBN 80-86706-04-4.
- [5] Indukční snímače pro bezdotykové měření. *Www.odbornecasopisy.cz* [online]. Ústí nad Labem: FCC Public, 8 2002n. 1. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/indukcni-snimace-pro-bezdotykovemereni-vzdalenosti--14749>
- [6] Indukční snímače. *Www.automatizace.hm.cz* [online]. Brno: automatizace.hm.cz, 11/2014n. 1. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/indukcni-snimace-priblizeni-obecny-popis.html>
- [7] Kapacitní snímače. *Www.automatizace.hm.cz* [online]. Brno: automatizace.hm.cz, 11/2014n. 1. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/bezkontaktni-kapacitni-senzory-priblizeni-obecny-popis.html>
- [8] BRADÁČ, F. *Kapacitní snímače*. Prezentace. Brno, 2018. Učební materiál do předmětu GAR. Vysoké učení Technické v Brně.
- [9] Magnetické snímače. *Www.automatizace.hm.cz* [online]. Brno: automatizace.hm.cz, 10/2014n. 1. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/magneticke-senzory-priblizeni.html>
- [10] Magnetické odměřovací snímače. Interní katalog sick. Waldkirch, 9/2016n. 1. Dostupné také z: [https://cdn.sick.com/media/docs/9/19/519/Product\\_information\\_MPS\\_T\\_MPS\\_C\\_MPA\\_Position\\_sensors\\_en\\_IM0067519.PDF](https://cdn.sick.com/media/docs/9/19/519/Product_information_MPS_T_MPS_C_MPA_Position_sensors_en_IM0067519.PDF)
- [11] BRADÁČ, F. *Optické snímače*. Prezentace. Brno, 2018. Učební materiál do předmětu GAR. Vysoké učení Technické v Brně.
- [12] Reflexní optické snímače. *Www.automatizace.hm.cz* [online]. Brno: automatizace.hm.cz, 6/2013n. 1. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/test-maly-reflexni-snimac-omron-e3z-r86>
- [13] Průmyslové čtečky pro optické čtení kódů. *Www.automa.cz* [online]. Ústí nad Labem: Automa, 2016 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://www.automa.cz/SiteContent.aspx?params=L1NpdGVDb250ZW50LmFzcHg%2fcmlkPTcwMTg5JmFwcD1NYWluJmdycD1Db250ZW50Jm1vZD1NYWdhemluZXMMmc3RhPU1hZ2F6aW5lQXJ0aWNsZUNvbnRlbnRXZWImcHN0PU1hZ2F6aW5lQXJ0aWNsZUNvbnRlbnRXZWImcDE9WWVhcl9TVFJJTkdfY1QyQWhPTXRnYkxRJTJiOXRuQ1dWWWxBJTnKJTnKJnAyPU51bWJlc19TVFJJTkdfSWFMRGV0R2NaeW51MXhWTnVvOEJpQSUzZC>

UzZCZwMz1PaWRfSU5UXzU3NjImdG5hbWU9c2l0ZWRIZmF1bHQmYWNvZGU9MTc0  
ODU3ZjE4Yzc2NTY2OTRmMTliZGQwMzFmMjA5YWM%3d

[14] Snímání poškozeného 2D kódu. *Www.cognex.com* [online]. Massachusetts: cognex, 2021 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/products/machine-vision/vision-software/vision-tools/identification/2dmax>

[15] Kamerový systém. *Www.cognex.com* [online]. Massachusetts: cognex, 2020 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/programs/in-sight-2000-vision-sensor>

[16] Použití kamerových systémů. *Www.cognex.com* [online]. Massachusetts: cognex, 2020 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/programs/in-sight-2000-vision-sensor>

[17] KOLÍBAL, Z. a R. KNOFLÍČEK. *Morfologická analýza stavby průmyslových robotů*. 1. vyd. Košice: Viena, 2000, 178 s. Edice vědecké a odborné literatury. ISBN 80-889-2227-5.

[18] KNOFLÍČEK, Radek. *Mobilní robotické systémy*. [Brno: Vysoké učení technické], 1996, [111] s.

[19] IO-Link. *Www.automatizace.hm.cz* [online]. Brno: automatizace.hm.cz, 2/2010n. 1. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/iolink-popis-digitalni-komunikace-pro-senzory>

[20] Komunikace v IO-Linku. *Www.automatizace.hm.cz* [online]. Brno: automatizace.hm.cz, 12/2019n. 1. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/io-link-kam-se-podivas-aneb-io-linkovy-boom.html>

[21] PALMER, Robert C. *The Bar Code Book*. 5. Victoria: Trafford publishing, 2007. ISBN 142513374-6.

[22] LACKO, B. *Systémový přístup k automatizaci: AUTOS 2000*. TERIS. Praha, 2002.



# 11 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

## 11.1 Seznam použitých symbolů.

Symbol	Jednotka	Popis
C	[s]	čas pracovního cyklu
D <sub>OP</sub>	[den]	počet dnů určených k plánovaným opravám stroje za rok
D <sub>ON</sub>	[den]	počet dnů určených k neplánovaným opravám stroje za rok
D <sub>V</sub>	[den]	počet dní k dispozici pro práci za rok
g <sub>i</sub>	[-]	určení významnosti jednotlivých kritérií
k <sub>c</sub>	[-]	koeficient využitelnosti stroje
K <sub>Směna</sub>	[ks]	počet otestovaných kusů za směnu
N <sub>STROJE</sub>	[kč]	náklady během životnosti stroje
N <sub>OB</sub>	[kč]	náklady na jednici
s	[-]	počet směn za den
τ	[-]	hodnota vhodnosti vybrané varianty
T <sub>FS</sub>	[hod]	časový fond stroje
T <sub>j</sub>	[-]	stanovení bodovací stupnice
t <sub>s</sub>	[hod]	směnový čas
t <sub>v</sub>	[s]	čas na výměnu druhu kabelového svazku
živ	[rok]	životnost jednoúčelového stroje

## 11.2 Seznam tabulek

<b>TAB. 1) POŽADAVEK NA TESTOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ KABELOVÝCH SVAZKŮ .....</b>	<b>26</b>
<b>TAB. 2) POŽADAVKY NA KONTROLY POMOCÍ KAMERY .....</b>	<b>37</b>
<b>TAB. 3) NÁKLADY NA PRVNÍ KONSTRUKČNÍ NÁVRH.....</b>	<b>44</b>
<b>TAB. 4) NÁKLADY NA DRUHÝ KONSTRUKČNÍ NÁVRH.....</b>	<b>46</b>
<b>TAB. 5) TABULKA HODNOCENÍ KONCEPČNÍCH VARIANT POMOCÍ METODY MULTIKRITERIÁLNÍHO HODNOCENÍ.....</b>	<b>48</b>
<b>TAB. 6) KONEČNÉ TECHNICKOEKONOMICKÉ ŘEŠENÍ KONCEPČNÍCH PŘESTAVEB.....</b>	<b>48</b>

<b>TAB. 7) TABULKA HODNOCENÍ NÁVRHŮ KONSTRUKČNÍCH UZLŮ POMOCÍ METODY MULTIKRITERIÁLNÍHO HODNOCENÍ .....</b>	<b>49</b>
<b>TAB. 8) KONEČNÉ TECHNICKOEKONOMICKÉ ŘEŠENÍ KONSTRUKČNÍCH UZLŮ .....</b>	<b>49</b>
<b>TAB. 9) RELEVANTNÍ NEBEZPEČÍ VZHLEDEM KE KOMPONENTŮM STROJE .....</b>	<b>78</b>
<b>TAB. 10) ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ BĚHEM JEDNOTLIVÝCH FÁZÍ ŽIVOTA STROJE .....</b>	<b>79</b>
<b>TAB. 11) TABULKA IDENTIFIKOVANÝCH ZÁVAŽNÝCH NEBEZPEČÍ .....</b>	<b>83</b>
<b>TAB. 12) FORMULÁŘ PRO SNÍŽENÍ VELIKOSTI RIZIKA PŘI NAPNUTÍ KABELU .....</b>	<b>85</b>
<b>TAB. 13) FORMULÁŘ PRO SNÍŽENÍ VELIKOSTI RIZIKA PŘI ZNAČENÍ OTESTOVANÉHO KUSU .....</b>	<b>86</b>
<b>TAB. 14) FORMULÁŘ PRO SNÍŽENÍ VELIKOSTI RIZIKA PŘI VÝMĚNĚ LŮŽKA .....</b>	<b>87</b>
<b>TAB. 15) KALKULACE NÁKLADŮ NA JEDNOÚČELOVÝ STROJ .....</b>	<b>90</b>
<b>TAB. 16) CENOVÁ KALKULACE PŘI ŽIVOTNOSTI STROJE 20 LET .....</b>	<b>91</b>

### 11.3 Seznam obrázků

<b>OBR. 1) PRODEJ ELEKTROMOBILŮ OD ROKU 2012 DO ROKU 2019 [2] .....</b>	<b>18</b>
<b>OBR. 2) SYSTÉMOVÝ PŘÍSTUP PRO JEDNOÚČELOVÝ STROJ .....</b>	<b>22</b>
<b>OBR. 3) KÓDOVÁNÍ, VÝŠKA ŠROUBU V KONEKTORU, UKÁZKA MĚŘENÍ DÉLEK (OBRÁZEK ZÁMĚRNĚ ROZOSTŘEN) .....</b>	<b>23</b>
<b>OBR. 4) PRVNÍ DRUH KABELOVÉHO SVAZKU (ZÁMĚRNĚ ROZOSTŘENO) .....</b>	<b>23</b>
<b>OBR. 5) TŘETÍ DRUH KABELOVÉHO SVAZKU (ZÁMĚRNĚ ROZOSTŘENO) .....</b>	<b>24</b>
<b>OBR. 6) ČTVRTÝ DRUH KABELOVÉHO SVAZKU (ZÁMĚRNĚ ROZOSTŘENO) .....</b>	<b>24</b>
<b>OBR. 7) PÁTÝ DRUH KABELOVÉHO SVAZKU (ZÁMĚRNĚ ROZOSTŘENO) .....</b>	<b>25</b>
<b>OBR. 8) MĚŘÍCÍ ŘETĚZEC S KLASICKÝM SNÍMAČEM [4] .....</b>	<b>27</b>
<b>OBR. 9) INTELIGENTNÍ SNÍMAČ S MĚŘÍCÍM ŘETĚZCEM [4] .....</b>	<b>28</b>
<b>OBR. 10) PŘEVODNÍ CHARAKTERISTIKA A KONSTRUKCE AKTIVNÍ CÍVKY [5, 6] .....</b>	<b>28</b>
<b>OBR. 11) PRINCIP MAGNETICKÉHO SENZORU [9] .....</b>	<b>29</b>
<b>OBR. 12) PŘÍMÉ ODMĚŘOVÁNÍ POMOCÍ MAGNETICKÉHO SNÍMAČE [10] .....</b>	<b>30</b>
<b>OBR. 13) POROVNÁNÍ SPÍNACÍ CHARAKTERISTIKY A) SENZORU S NASYCENÝM JÁDREM CÍVKY, B) A C) REEDOVA SENZORU .....</b>	<b>30</b>
<b>OBR. 14) PRINCIP OPTICKÉHO SNÍMAČE [11] .....</b>	<b>31</b>
<b>OBR. 15) PRINCIP JEDNOCESTNÉ OPTICKÉ ZÁVORY [11] .....</b>	<b>32</b>
<b>OBR. 16) PRINCIP REFLEXNÍ DETEKCE [12] .....</b>	<b>33</b>
<b>OBR. 17) DIFÚZNÍ DETEKCE [11] .....</b>	<b>33</b>
<b>OBR. 18) HYSTEREZE INDUKČNÍCH A MAGNETICKÝCH SNÍMAČŮ [8] .....</b>	<b>33</b>
<b>OBR. 19) UKÁZKA ČTEČKY DMR-262 OD SPOLEČNOSTI COGNEX [13] .....</b>	<b>35</b>

OBR. 20)	SCHÉMA CCD ČTEČKY [21].....	36
OBR. 21)	SCHÉMA LASEROVÉ ČTEČKY [21] .....	36
OBR. 22)	UKÁZKA LOKALIZACE ČÁROVÉHO KÓDU [13].....	37
OBR. 23)	KAMEROVÝ SYSTÉM COGNEX, RŮZNÉ VARIANTY BAREV SVĚTLA [16] .....	38
OBR. 24)	KONCEPČNÍ NÁVRH STROJE .....	39
OBR. 25)	PRVNÍ KONCEPČNÍ VARIANTA PŘESTAVEB .....	41
OBR. 26)	DRUHÁ KONCEPČNÍ VARIANTA .....	42
OBR. 27)	PRVNÍ KONSTRUKČNÍ NÁVRH .....	44
OBR. 28)	DRUHÝ KONSTRUKČNÍ NÁVRH .....	45
OBR. 29)	DETAILNÍ KONSTRUKCE JEDNOÚČELOVÉHO STROJE .....	51
OBR. 30)	DIAGRAM JEDNOHO PRACOVNÍHO CYKLU TESTOVÁNÍ KABELOVÉHO SVAZKU .....	54
OBR. 31)	DIAGRAM JEDNOHO PRACOVNÍHO CYKLU NA JÚS DLE GANTTOVY METODY .....	57
OBR. 32)	DIAGRAM POTŘEBNÉHO ČASU PŘI VÝMĚNĚ DRUHU KABELOVÉHO SVAZKU .....	58
OBR. 33)	ZJEDNODUŠENĚ ZOBRAZENÁ PROFILOVÁ KONSTRUKCE JÚS ...	59
OBR. 34)	SPODNÍ ČÁST PROFILOVÉ KONSTRUKCE.....	60
OBR. 35)	HORNÍ ČÁST PROFILOVÉ KONSTRUKCE .....	61
OBR. 36)	ZÁKLADNÍ DESKA STOLU.....	62
OBR. 37)	DESKA PŘESTAVEB.....	63
OBR. 38)	PŘESTAVBA PRO PRVNÍ DRUH KABELU (ZÁMĚRNĚ ROZOSTŘENO) .....	64
OBR. 39)	NOK BEDNA (ZE DVOU POHLEDŮ).....	65
OBR. 40)	UKÁZKA ROZVADĚČE NA JEDNOÚČELOVÉM STROJI .....	66
OBR. 41)	OVLÁDACÍ PANEL JEDNOÚČELOVÉHO STROJE .....	67
OBR. 42)	UKÁZKA ZADNÍ SPODNÍ ČÁSTI OVLÁDACÍHO PANELU JEDNOÚČELOVÉHO STROJE .....	68
OBR. 43)	KAMEROVÉ SNÍMÁNÍ OK KUSU 3. DRUHU KABELOVÉHO SVAZKU .....	69
OBR. 44)	KAMEROVÉ SNÍMÁNÍ OK KUSU 5. DRUHU KABELOVÉHO SVAZKU .....	70
OBR. 45)	PNEUMATICKÉ SCHÉMA JEDNOÚČELOVÉHO STROJE .....	73
OBR. 46)	MODEL JEDNOÚČELOVÉ STROJE.....	94

## **12 SEZNAM PŘÍLOH**

### **12.1 Tištěné přílohy**

1. Výkres sestavy jednoúčelového stroje – 50-351334-00000
2. Výkres dílu – 50-351334-02012
3. Výkres dílu – 50-351334-11101
4. Výkres dílu – 50-351334-12022
5. Výkres dílu – 50-351334-12101
6. Výkres dílu – 50-351334-12703
7. Diagram jednoho pracovního cyklu testování kabelového svazku

### **12.2 Přílohy na CD**

1. 3D model jednoúčelového stroje
2. Výkresová dokumentace – Hlavní sestava, podsestavy, výkresy dílenských dílů
3. Multikriteriální metoda výběru variant
4. Pneumatické schéma
5. Diagram jednoho pracovního cyklu testování kabelového svazku
6. Riziková analýza
7. Systémový přístup jednoúčelového stroje